

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики

Направление 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Отделение «Электроэнергетика и электротехника»

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Исследование физико-механических свойств полимерных материалов, применяемых для изоляции нефтепогружных кабелей</b>

УДК 622.276.53-427.4-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6М	Тиханович Андрей Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бородин Юрий Викторович	к.т.н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., доцент		

## ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения
P1	<i>Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.</i>
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.</i>
P3	<i>Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.</i>
P4	<i>Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.</i>
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.</i>
P6	<i>Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.</i>
P7	<i>Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.</i>
P8	<i>Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.</i>
P9	<i>Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.</i>
P10	<i>Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.</i>
P11	<i>Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.</i>
P12	<i>Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.</i>

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики

Направление 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Отделение «Электроэнергетика и электротехника»

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ОЭЭ

\_\_\_\_\_  
(Подпись)    \_\_\_\_\_ (Дата)    Дементьев Ю.Н.  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6М	Тихановичу Андрею Андреевичу

Тема работы:

Исследование физико-механических свойств полимерных материалов, применяемых для изоляции нефтепогружных кабелей	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ №45/с от 11.01.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.2018 г.
--	---------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

Исходные данные к работе	Полимерный материал фторопласт
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Анализ физико-механических свойств полимерных материалов.</li><li>2. Отработка методики проведения испытаний по оценки стойкости полимерных материалов к действию эксплуатационных факторов характерных для работы нефтепогружного кабеля.</li><li>3. Определение критериев оценки применимости материалов.</li><li>4. Исследование изменения физико-механических свойств полимерных материалов под действием агрессивной среды.</li><li>5. Разработка рекомендаций по выбору и применению материалов для изготовления изоляции/оболочки НПК.</li></ol>

Перечень графического материала	Презентация, выполненная в редакторе «Microsoft Power Point 2016»
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Основная часть	Леонов А. П.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова С. Н.
Социальная ответственность	Бородин Ю. В.
Раздел на иностранном языке	Федоринова З. В.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Рассмотрение конструкций силовых кабелей. Силовые кабели с изоляцией на основе ПВХ-пластиков.	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов А. П.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6М	Тиханович Андрей Андреевич		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение «Электроэнергетика и электротехника»

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования магистр

Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
--------------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения магистерской диссертации**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.2018 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
05.03.2018	Анализ физико-механических свойств полимерных материалов	8
17.03.2018	Отработка методики проведения испытаний по оценки стойкости полимерных материалов к действию эксплуатационных факторов характерных для работы нефтепогружного кабеля	15
26.03.2018	Определение критериев оценки применимости материалов	15
5.04.2018	Исследование изменения физико-механических свойств полимерных материалов под действием агрессивной среды	20
20.04.2018	Разработка рекомендаций по выбору и применению материалов для изготовления изоляции/оболочки НПК	12
10.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
15.05.2018	Социальная ответственность	10
19.05.2018	Раздел, выполняемый на иностранном языке	10
28.05.2018	Выполненная магистерская диссертация	100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Леонов А.П.	к.т.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	к.т.н., профессор		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5АМ6М	Тиханович Андрей Андреевич

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОЭЭ</b>
Уровень образования	Магистр	Направление	Электроэнергетика и электротехника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости рынка; Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ (количество исполнителей - 2 человека)
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	16% накладные расходы 10% прочие расходы
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам составляют 27.1 % для научных и образовательных проектов

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки : - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта; - расчет сметы затрат: - материальные затраты; - оплата труда; - отчисления во внебюджетные фонды; - накладные расходы.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение интегрального показателя ресурсоэффективности

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Ганта
3. Бюджет проекта
4. Оценка ресурсоэффективности

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Попова С. Н.	к.э.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5АМ6М	Тиханович Андрей Андреевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6М	Тиханович Андрей Андреевич

Школа	ИШЭ	Отделение	ОЭЭ
Квалификация	Магистр	Направление	Электроэнергетика и электротехника

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»</b>	<p><i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования).</i></p> <p><i>При выполнении ВКР проводились исследования стойкости оболочки нефтепогружных кабелей к воздействию пластовой жидкости в лаборатории ПАО «НИКИ г.Томск».</i></p> <p><i>Этапы работ:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><i>1. Подготовка образцов для испытаний на старение в агрессивной среде (трансформаторное масло, СЖР);</i></li> <li><i>2. Испытание образцов в исходном состоянии;</i></li> <li><i>3. Старение образцов при различном времени воздействия агрессивной жидкости;</i></li> <li><i>4. Испытание образцов после старения.</i></li> </ol>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li><i>1. Анализ вредных факторов, проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>– Вредные вещества;</i></li> <li><i>– Микроклимат в помещении;</i></li> <li><i>– Шум;</i></li> <li><i>– Освещение рабочей зоны.</i></li> </ul> </li> <li><i>2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>– Электробезопасность;</i></li> <li><i>– Зануление;</i></li> <li><i>– Пожаробезопасность;</i></li> <li><i>– Защита от случайного прикосновения.</i></li> </ul> </li> <li><i>3. Охрана окружающей среды:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>– Анализ объекта воздействия на атмосферу;</i></li> <li><i>– Выброс отходов.</i></li> </ul> </li> <li><i>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>– Наиболее вероятными ЧС при исследовании резиновой оболочки являются высвобождение в природную среду обитания больших количеств опасных и вредных для жизни и здоровья людей веществ и агентов.</i></li> </ul> </li> <li><i>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>– Требование к персоналу, к его рабочему месту и средствам индивидуальной защиты;</i></li> <li><i>– Перечень законодательных и нормативных документов.</i></li> </ul> </li> </ol>
<b>Перечень расч-го и граф-го материала</b>	<p><i>Расчет искусственного освещения для помещения.</i></p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД ИШНКБ	Бородин Ю.В.	Доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6М	Тиханович Андрей Андреевич		

## Реферат

Дипломная работа содержит 90 страниц текстового материала, 21 рисунок, 6 таблиц, 17 использованных источников. Таблицы и графики составлялись в графическо-расчетной программе ОС Windows Microsoft Excel, оформление текстового документа осуществлялось в программе ОС Windows Microsoft Word.

Перечень ключевых слов: установка электроцентробежного насоса, фторполимер, изоляция, оболочка, углеводородная жидкость, агрессивная среда, стойкость, набухание, сорбция, предел прочности, относительное удлинение.

Тема: Исследование физико-механических свойств полимерных материалов, применяемых для изоляции нефтепогружных кабелей.

В процессе выполнения выпускной дипломной работы был проведен литературный обзор по данной теме. В работе были рассмотрены следующие вопросы: нефтепогружные кабели, способы оценки стойкости кабельных полимерных материалов к действию жидких углеводородов, материалы применяемые в конструкции нефтепогружных кабелей. Также были определены методики проведения старения полимеров и испытаний механических свойств, а также методика обработки результатов.

В результате проделанной работы были получены зависимости предела прочности и относительного удлинения при разрыве фторопласта от времени старения в жидких агрессивных средах при температуре 135 °С. На основании полученных данных были сделаны выводы о применимости материала в производстве нефтепогружных кабелей.



## Обозначения и сокращения

УЭЦН – установка электрического центробежного насоса;

ПЭЦН – погружной электроцентробежный насос;

НКТ – насосно-компрессорные трубы;

НПК – нефтепогружной кабель;

ТПЖ – токопроводящая жила;

ПЭ – полиэтилен;

ПЭВД – полиэтилен высокого давления;

ПП – полипропилен;

ТЭП – термоэластопласт;

TVR – термопластичные вулканизированные эластомеры;

TPS – стирольные термопластичные эластомеры;

ПВХ – поливинилхлорид;

ЭИМ – электроизоляционные материалы;

ИПЖ – имитатор пластовой жидкости;

СЖР – жидкость нефтяная стандартная для испытания резин;

ПВДФ – поливинилиденфторид;

## Оглавление

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	13
1.1 Назначение, классификация и условия эксплуатации кабелей для питания УЭЦН .....	13
1.2 Материалы, применяемые в качестве изоляции и оболочки НПК .....	25
1.3 Методы оценки стойкости ЭИМ к действию агрессивных сред, характеристики для эксплуатации в скважине .....	30
1.4 Методы испытаний НПК.....	32
1.5 Выводы, постановка задач на исследование .....	34
2. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	35
2.1 Подготовки образцов для определения механических свойств материалов .....	35
2.2 Методика взвешивания образцов .....	38
2.3 Методика выдержки в агрессивной среде .....	40
2.4 Методика определения предела прочности и относительного удлинения при разрыве.....	42
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	43
3.1 Объект исследования.....	43
3.2 Определение изменения механических свойств материала после выдержки в агрессивной среде .....	45
3.3 Оценка изменения массы .....	47
3.4 Обработка экспериментальных результатов .....	47
Выводы.....	52
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	55
4.1 SWOT-анализ работы ремонтно-механического цеха ферросплавного завода.....	55
4.2 Планирование научно-исследовательской работы.....	57
4.3 Составление сметы затрат на разработку ТП.....	62
4.4 Определение ресурсоэффективности проекта .....	63
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	66
5.1 Анализ вредных факторов.....	66
5.2 Анализ опасных факторов.....	73

5.3 Охрана окружающей среды .....	77
5.4 Защита в чрезвычайных ситуациях .....	78
5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	79
Список литературы .....	81
Приложение А .....	83

# 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Назначение, классификация и условия эксплуатации кабелей для питания УЭЦН

УЭЦН относится к погружным бесштанговым насосным установкам лопастного типа. Эксплуатация нефтяных скважин и добыча нефти при помощи установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) широко распространена на нефтяных промыслах Российской Федерации. Установками ЭЦН добывается порядка 80 % всей нефти в России [4].

Установка погружного центробежного насоса (рис. 1) включает в себя наземное и погружное оборудование.

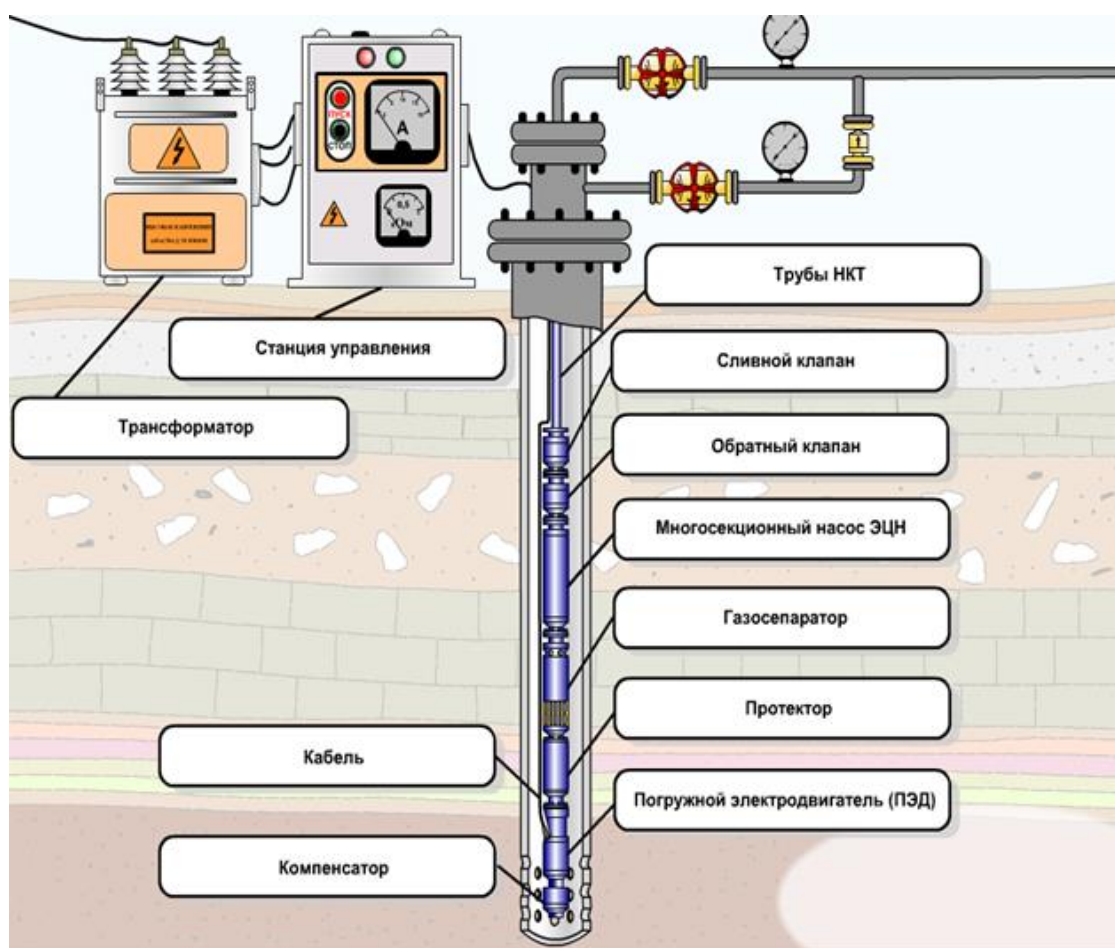


Рисунок 1 - Установка электрического центробежного насоса (УЭЦН)

Установка погружного центробежного электронасоса состоит из [5]:

*Компенсатор* входит в состав гидрозащиты, предназначенной для защиты погружных маслозаполненных электродвигателей от проникновения пластовой жидкости в их внутреннюю полость, компенсации утечки масла и тепловых изменений его объема при работе электродвигателя и его остановках. Компенсатор имеет устройство для автоматического сообщения с полостью электродвигателя. Компенсатор устанавливается в нижней части погружного электродвигателя.

*Погружной асинхронный электродвигатель* служит для привода электроцентробежного насоса и состоит из ротора, статора, головки, основания и узла токоввода. Внутренняя полость двигателя заполнена маслом. Фильтр для очистки масла расположен в нижней части двигателя.

Погружной электродвигатель комплектуется гидрозащитой (протектор, компенсатор) для предотвращения проникновения пластовой жидкости в двигатель и утечки масла из двигателя. Для эффективного охлаждения двигателя необходимо постоянное наличие потока жидкости в кольцевом пространстве между его корпусом и внутренними стенками эксплуатационной колонны.

*Протектор* входит в состав гидрозащиты, предназначенной для защиты погружных маслозаполненных электродвигателей от проникновения пластовой жидкости в их внутреннюю полость, компенсации утечки масла и тепловых изменений его объема при работе электродвигателя и его остановках. Протектор имеет две упругие диафрагмы (верхнюю и нижнюю), за счет деформации которых компенсируются изменения объема масла в электродвигателе. Протектор устанавливается в верхней части погружного электродвигателя между двигателем и газосепаратором.

При эксплуатации скважин с высоким газосодержанием откачиваемой нефти для уменьшения вредного влияния свободного газа на работу ЭЦН в компоновку подземного оборудования включают дополнительный модуль - *газосепаратор*. При работе газосепаратора происходит разделение потока на

жидкую и газовую фазу в сепарационных барабанах под действием центробежной силы. При этом отсепарированный газ направляется в затрубное пространство, а дегазированная жидкость подается на прием насоса. Использование эффективного газосепаратора позволяет устойчиво эксплуатировать установки ПЭЦН в скважинах, где объемное содержание свободного газа на входе в насос существенно превышает 30%. Газосепаратор устанавливается между протектором гидрозащиты и нижней секцией ЭЦН.

*Погружной электроцентробежный насос ПЭЦН* в общем случае состоит из нескольких секций, достигая в длину нескольких метров. Каждая секция включает в себя большое (до 100 и более) число ступеней. Требуемый напор насоса получают комбинированием необходимого числа ступеней. При работе насоса давление в нем плавно возрастает по его длине.

*Обратный клапан* предназначен для предотвращения обратного (турбинного) вращения рабочих колес насоса под воздействием столба жидкости в напорном трубопроводе при остановках насоса и облегчения ею последующего запуска, используется для опрессовки колонны НКТ после спуска установки в скважину. Обратный клапан устанавливается между верхней секцией насоса и сливным клапаном.

*Сливной клапан* предназначен для слива жидкости из насосно-компрессорных труб при подъеме насоса из скважины. Сливной клапан устанавливается между обратным клапаном и колонной труб НКТ.

*Станция управления* обеспечивает питание, управление работой погружной установки и защиту ее от аномальных режимов работы. Современные станции управления могут быть оборудованы тиристорными преобразователями для бесступенчатого регулирования частоты вращения вала насоса, что позволяет плавно регулировать подачу и напор установки, обеспечивать мягкий (без рывков) пуск двигателя после отключения. Станция управления обеспечивает контроль, индикацию и запись основных рабочих

параметров установки, отключение электродвигателя при перегрузке/недогрузке, понижении сопротивления изоляции и др.

*Трансформатор* предназначен для питания погружных электродвигателей от сети переменного тока напряжением 380 или 6000 В. Трансформаторы выпускаются маслonaполненные и сухие номинальной мощностью от 40 до 400 кВА.

*Кабельная линия* предназначена для подачи электрического напряжения переменного тока с поверхности к погружному двигателю установки. Кабельная линия состоит из основного кабеля (плоского или круглого) и соединенного с ним плоского кабеля - удлинителя с муфтой кабельного ввода. Соединение основного кабеля с удлинителем производится неразъемной соединительной муфтой (сросткой). С помощью сростки также могут быть соединены участки основного кабеля для получения необходимой длины.

Кабель - удлинитель имеет уменьшенные наружные размеры по сравнению с основным кабелем.

Муфта кабельного ввода обеспечивает герметичное присоединение кабеля к ПЭД. В зависимости от температуры и агрессивности откачиваемой среды выпускаются кабели с различной степенью изоляции. Современные кабели способны работать при температуре до 200 °С и напряжении до 4000 В.

## **Условия эксплуатации НПК**

В период активного внедрения (60-ые годы XX века) глубина подвески установок ЭЦН составляла от 300 до 1200 м. По мере совершенствования установок ЭЦН глубина их подвески постоянно увеличивалась, соответственно ухудшались и условия их работы. На текущий момент типовая подвеска УЭЦН в Западной Сибири составляет 2200-2800 метров [6].

При эксплуатации НПК практически не подвергаются растягивающим нагрузкам, но подвержены значительно изгибающим, крутящим нагрузкам, а также воздействие сил трения при подъеме и опускании системы в скважину.

Кабели постоянно подвержены воздействию давления и температуры окружающей среды, влияние которой определяется ее составом, а также составом растворенных в ней газов (наиболее концентрацией сероводорода). Так под действием термобарического фактора происходит набухание изоляции, изменение электромеханических характеристик, а также большое влияние оказывают механические нагрузки при подъеме и опускании кабеля. Все эти факторы приводят к сокращению ресурсов кабеля.

Условия эксплуатации кабелей являются чрезвычайно жесткими:

- комплексное воздействие повышенной температуры;
- высокое гидростатическое давление;
- агрессивная эксплуатационная среда;
- механические воздействия;
- высокий газовый фактор скважной жидкости;
- перепад давления и температуры по длине кабельной линии во время эксплуатации.

В процессе эксплуатации кабельных линий для погружных электронасосов верхний конец кабеля находится на поверхности земли, при этом наблюдается существенное различие между температурой на поверхности земли и температурой среды скважины. Также нужно учитывать повышение



температуры кабельной линии за счет тепла, которое выделяется электродвигателем и насосом. При нормальных режимах перепад температур в скважине может достигать 20°C, в аварийных режимах от 40-50 °C и выше происходит срыв нефти, что приводит к расплавлению изоляции, а вследствие и к короткому замыканию между жилами [5].

Все отмеченные факторы приводят к старению изоляции и выходу из строя кабельной линии. Поэтому главной задачей в современных разработках нефтепогружных кабелей является применение новых материалов, которые позволят улучшить характеристики кабельных линий для установок ЭЦН.

## **Классификация и основные конструкции НПК**

Нефтепогружные кабели подразделяют по следующим признакам [2]:

### **1) Материалу изоляции:**

- пленка полиимидно-фторопластовая (И);
- лаковая (эмалевая) изоляция (Л);
- полиэтилен высокой плотности (П);
- полиэтилен высокой плотности вулканизированный (Пв);
- композиции полипропилена, сополимеры и блоксополимеры пропилена (Пп);
- резины на основе этиленпропиленового каучука (Э);
- фторсополимеры (Ф);
- термоэластопласты (Т).

### **2) Материалу оболочек:**

- полиэтилен высокой плотности;
- композиции полипропилена, сополимеры и блоксополимеры пропилена (Пп);
- резины на основе этиленпропиленового каучука (Э);
- термоэластопласты (Т);
- резины на основе нитрильного каучука (Н);
- свинец и его сплавы (С).

### **3) Конструкции подушки под бронёй:**

- обмотка или оплётка (без обозначения);
- общая оболочка (О).

### **4) Материалу брони:**

- лента стальная оцинкованная (Б);
- лента из коррозионностойкой стали (Бк).

### **5) Конструктивному исполнению:**

- круглый (К);
- плоский (П).

Структура обозначений марок кабеля следующая:

К	×	×	×	×	×	×	—	×× или ×××	Кабель
									Материал первого слоя изоляции
									Материал второго слоя изоляции (при его наличии)
									Материал оболочки (при ее наличии)
									Подушка в виде общей оболочки (при ее наличии)
									Материал брони
									Конструктивное исполнение
									Длительно допустимая температура нагрева жил

В основном нефтепогружные кабели изготавливают плоской или круглой формы. Типовая конструкция кабеля для УЭЦН приведена на рис. 2.

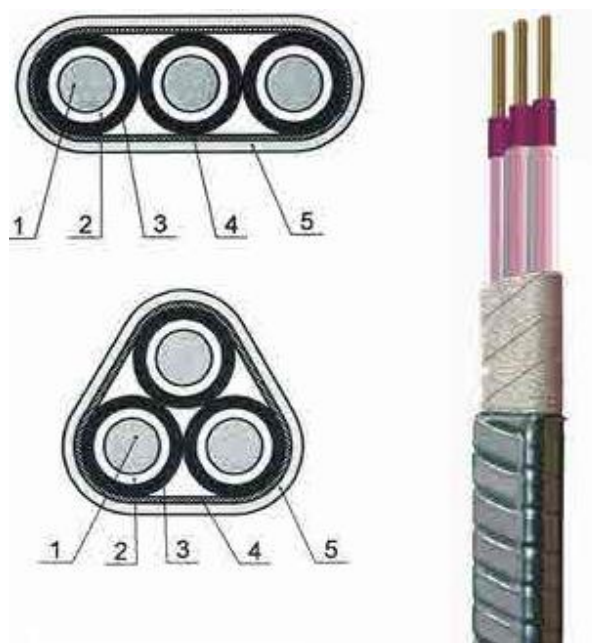


Рисунок 2 - Типовая конструкция кабеля для УЭЦН: 1 - токопроводящая жила; 2 - первый слой изоляции; 3 – второй слой изоляции или оболочки; 4 - подушка под броню; 5 - броня из стальных лент

**Токопроводящие жилы (ТПЖ)** выполняются 1-ого и 2-ого класса гибкости:

- однопроволочные при  $S_n < 16 \text{ мм}^2$  ;
- многопроволочные при  $S_n > 16 \text{ мм}^2$

Исключение при  $S_n < 13,3$  и  $21,5 \text{ мм}^2$  могут быть однопроволочными, так и многопроволочными.

Основные проводниковые материалы, применяемые для изготовления ТПЖ: медь, алюминий, стальная оцинкованная проволока.

**Изоляция** кабеля должна выполняться двухслойной, полимерной, а иногда трехслойной. По изоляции допускается наложение бандажей, которые усиливают покрытие (для резиновой изоляции). Выполняется лентами с 50 % - ным перекрытием из прорезиненной ткани или нетканого термоскрепленного полотна.

**Оболочка.** В кабелях с пластмассовой изоляцией, по изоляции накладывается оболочка, индивидуально или общая (редко).

Может быть из того же материала, как и изоляция или материала стойкого к действию пластовой жидкости.

**Броня.** Под броню накладывается подушка для защиты оболочки от механических повреждений при наложении брони. Подушка выполняется из лент нетканого полотна. Ленты накладываются с 40% - ным перекрытием. Броня выполняется из стальных оцинкованных лент или из лент коррозионностойкой стали. ГОСТ регламентирует толщину и ширину лент брони.

Основные ТПЖ кабелей могут быть одно - или семипроволочными, а контрольные жилы обязательно должны быть семипроволочными, также допускается лужение жил оловянно-свинцовыми припоями.

Поверх ТПЖ накладывается изоляция, которая должна плотно прилегать к ТПЖ, также в изоляции не должно быть пор и инородных включений, а на поверхности – трещин, вмятин и утолщений, которые могут вывести номинальные размеры изолированной жилы за предельные отклонения. Допускается выполнение изоляции из разнородных материалов, починка изоляции жил при изготовлении кабелей не допускается.

Поверх изолированной жилы может быть наложена оболочка, которая должна плотно прилегать к изоляционному материалу и легко отделяться от изоляции не приводя к ее повреждению.

В оболочке так же, как и в изоляции не должно быть пор, инородных включений и трещин, а на ее поверхности – вмятин и утолщений, которые так же могут вывести номинальные размеры оболочки за предельные отклонения, починка оболочки при изготовлении кабелей не допускается.

Поверх изоляции или оболочки жилы может быть наложен бандаж в виде обмотки лентами с перекрытием не менее 50 % или оплетки плотностью не менее 85 %. Бандаж должен быть плотно наложен на изоляцию или оболочку.

На скрученные изолированные жилы круглых и плоских кабелей, которые уложены параллельно, продольно прокладывают маркировочную ленту и накладывают подушку под броню, если подушка выполнена в виде общей оболочки, то маркировочная лента накладывается поверх подушки.

Материал маркировочной ленты должен быть устойчив к механическим воздействиям брони и влиянию внешней среды также как и обозначения на маркировочной ленте.

Подушка под броню может выполняться в виде обмотки лентами с перекрытием не менее 40%, оплетки плотностью не менее 70%.

Подушка должна быть плотно наложена на жилы кабеля и легко отделять от изоляции или оболочек без их повреждения.

Подушка в виде общей оболочки не должна иметь трещин и сквозных пор, промежутки между жилами под подушкой могут иметь заполнения, также допускается отсутствие подушки в кабелях, которые имеют бандаж поверх изоляции или оболочек жил [1].

Поверх подушки кабеля или жил, имеющих бандажи, накладывается броня из лент, номинальные размеры которых должны соответствовать значениям, указанным в таблице 1.

Таблица 1

Тип ленты	Конструктивное исполнение кабеля	Номинальное сечение основных жил, мм <sup>2</sup>	Номинальные размеры ленты, мм	
			Толщина	Ширина
Стальная оцинкованная	Круглый	6 и 8	0,4	10-15
		10-50	0,5	10-15
	Плоский	6 и 8	0,4	15-20
		10-50	0,5	15-20
Из коррозионностойкой	Круглый	6 и 8	0,3	10-15
		10-50	0,4	10-15
	Плоский	6 и 8	0,3	15-20
		10-50	0,4	15-20

Различные марки нефтепогружных кабелей представлены в Таблице 2

Таблица 2

Марка кабеля	Рабочая температура	Материал изоляции	Материал оболочки, брони	Производитель
КПБП	От -60 °С до + 90 °С	Двухслойная изоляция из полиэтилена	Подушка из лент нетканого полотна; Броня из стальной оцинкованной ленты	АО «Сибкабель»; АО «ЭКЗ»; ООО «Камкабель»; ОАО «Подольсккабель»; АО «РОССКАТ»; ОАО «АКЗ»; ЗАО «Кавказкабель»
КПпБП	От -40 °С до + 120 °С	Изоляция из полипропилена	Броня из стальной оцинкованной ленты	АО «Сибкабель»; АО «Уралкабель»; ОАО «Подольсккабель»; ЗАО «Кавказкабель»; АО «Казэнергокабель»; ООО «Камкабель»
КПсПБкП КПсПБкК	От -60 °С до +120 °С	Изоляция из радиационно модифицированной композиции	Броня из стальной ленты	ОАО «Подольсккабель»; АО «Казэнергокабель»
КПсТБП	От -60 °С до +150 °С	Изоляция из сшитого полиолефина	Броня из стальной ленты	ОАО «Подольсккабель»; АО «Казэнергокабель»

КПпфвБП	От -60 °С до +130 °С	Изоляция из блоксополимера пропилена с этиленом	Защитный слой фторопластовых пленок и ПВХ лент; Броня из оцинкованных лент	АО «Сибкабель»
КЭСБП	От -60 °С до +230 °С	Изоляция из маслбензостойкой этиленпропиленовой резины	Свинцовая оболочка; Подушка из лент нетканого полотна; Броня в виде стальной оцинкованной ленты	ООО «Камкабель»; АО «Росскат»
КИФБП	От -60 °С до +230 °С	Изоляция из полиимидно-фторопластовой пленки и фторсополимера	Броня из стальной оцинкованной ленты	АО «Сибкабель»
КЕПСБПТ (KEPSBPT)	От -60 °С до +230 °С	Изоляция из специальной эластомерной смеси на основе ЭПДМ – компаунда повышенного температурного класса	Свинцовая оболочка; Броня в виде стальной оцинкованной ленты	Компания FKS, Сербия
Centriline 200	От -40 °С до +130 °С	Изоляция из полипропилена	Оболочка из резины; Стальная броня	Производство компании: «CENTRILIFT CABLE», Хьюстон, США
Qyrn	От -40 °С до +96 °С	Изоляция из полипропилена	Броня из оцинкованной стали	Производство Шаньдун Ванда кабель, Китай
Qyyfn	От -40 °С до +150 °С	Изоляция из политетрафторэтилена	Броня из оцинкованной стали	Производство Шаньдун Ванда кабель, Китай

## 1.2 Материалы, применяемые в качестве изоляции и оболочки НПК

В качестве изоляции применяются материалы приведенные ниже [2]:

- пленка полиимидно-фторопластовая (И);
- лаковая (эмалевая) изоляция (Л);
- полиэтилен высокой плотности (П);
- полиэтилен высокой плотности вулканизированный (Пв);
- композиции полипропилена, сополимеры и блоксополимеры пропилена (Пп);
- резины на основе этиленпропиленового каучука (Э);
- фторсополимеры (Ф);
- термоэластопласты (Т)

Полиимидная пленка (ПМ-1) изготавливается методом полива из полиимидного лака АД-9103, полученного в растворе диметилформамида. Полиимидная пленка прозрачна, ее цвет меняется в зависимости от толщины: от темно-желтого до светло-коричневого. Пленка ПМ-1 характеризуется высокими физико-механическими показателями. Она эластична в широком диапазоне температур. Обладает высокой усталостной и долговременной прочностью и низкой ползучестью. Полиимидная пленка относится к антифрикционным материалам. Она не растворяется в органических растворителях, стойка в маслах, разрушается (гидролизуется) под действием концентрированных кислот и щелочей. Обладает высокой радиационной стойкостью. Основной особенностью этого материала является способность сохранять механические и электроизоляционные свойства в широком интервале температур (от -200 до + 400 °С) [7].

Эмалевая изоляция состоит из слоя эмалевого лака, нанесенного за 3-12 покрытий с последующей сушкой и полимеризацией. Наиболее распространенным видом изоляции эмалированных проводов является эмальлак на поливинилацеталевой основе [8].



Ацеталами называют простые эфиры, получаемые при конденсации спирта и альдегида выделением воды.

Продукт взаимодействия поливинилового спирта с формальдегидом называют формалем, а с масляным альдегидом - бутиралем.

Поливинилформаль и резольная смола являются основой эмальлака формекс и других выпуска в ряде стран лаков. Этот ацеталь имеет ограниченную растворимость в органических растворителях. В качестве растворителя этого лака применяют крезол, обладающий повышенной токсичностью. Эмальлак металвис представляет собой раствор поливинилформали, реальной смолы и стабилизатора в метапаракрезоле с разбавлением последнего сольвентнафтом. Готовый лак содержит 15,8-16,2 %: лаковой основы [9].

Полиэтилен низкой плотности (LDPE) – ПЭ с сравнительно сильно разветвленной макромолекулой и низкой плотностью (0,916-0,935 г/см<sup>3</sup>). Процесс его изготовления протекает при очень высоком давлении от 100 до 300 МПа и температуре 100–300 °С, поэтому обозначается так же, как полиэтилен высокого давления (ПЭВД).

Полипропилен (полипропен, ПП) – соответствует химической формуле  $(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-)_n$ . Полипропилен блок-сополимер, блок сополимер пропилена и этилена, полипропилен статический сополимер, статический сополимер пропилена и этилена, полипропилен гомополимер. Сырьем для полипропилена служит газ пропилен (пропен). В промышленности получают полимеризацией пропилена главным образом в массе, а также в растворе. Реакцию в массе осуществляют при 70-80°С и давление 2,7-3,0 МПа. Благодаря отсутствию растворителя упрощается выделение и сушка полипропилена. Полимеризацию в растворе (растворитель – гептан, низкооктановые фракции бензина:  $t=70-80^\circ\text{C}$ ,  $p=0,5-0,1$  МПа, катализаторы – хлориды титана  $\text{TiCl}_3$  с алюминийорганическими соединениями  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$ ) проводят до содержания

полипропилена в растворителе 300-400 г/п. После отделения на центрифуге полипропилен отмывают от остатков катализатора спиртом, смесью воды со спиртом [10].

Порошкообразный полипропилен сушат, смешивают со стабилизаторами, красителями и затем гранулируют. Как правило, полипропилен выпускают в виде гранул диаметром 2-5 миллиметров (намного реже в виде порошка). ПП относится к классу полиолефинов. Существует несколько подклассов полипропилена. Показатель текучести расплава ( $230^{\circ}\text{C}/2.16 \text{ кг}\cdot\text{г}/10\text{мин}$ )-0,2-55; легко кристаллизуется (максимальная степень кристалличности 75%); температура стеклования (температура размягчения) от  $-10$  до  $-20^{\circ}\text{C}$ ; температура плавления –  $160-176^{\circ}\text{C}$ ; термическая деструкция начинается при  $300^{\circ}\text{C}$ ; плотность –  $0,90-0,92 \text{ г}/\text{см}^3$ ; усадка –  $1,3-2,4\%$ .

Термоэластопласты представляют собой материалы, которые сочетают в себе характеристики перерабатываемости термопластов и физические свойства вулканизированных резин. В настоящее время известны ТЭП на основе почти всех классов полимерных соединений:

Термопластичные вулканизированные эластомеры (TPV) получают путем динамической вулканизации смесей полиолефинов (ПП/ПЭ) и этилен-пропилен-диенового каучука (EPDM). TPV отличает высокая стойкость к озону и ультрафиолетовым излучениям, стойкость к воздействию различных жидкостей и растворителей, широкий температурный интервал работоспособности (от  $-60$  до  $150^{\circ}\text{C}$ ), низкая усадка и стабильность размеров изделия, сопротивление ударным нагрузкам, выносливость к многократному изгибу, широкий выбор предлагаемых материалов, хорошая восстанавливаемость после деформации.

Стирольные термопластичные эластомеры (TPS) получают путем смешения полиолефинов (ПЭ, ПП) и стирольных блок-сополимеров, таких как стирол-бутадиен-стирол (SBS) или стирол-этилен-бутилен-стирол (SEBS).

Структура TPS на основе SBS является химически ненасыщенной, что делает их не стойким к ультрафиолету, воздействию озона, и ограничивает верхний предел температуры эксплуатации. В этой связи область применения TPE-S на основе SBS ограничена [11].

### **Материалы оболочек, применяемые в нефтепогружных кабелях**

Главной задачей оболочки нефтепогружного кабеля является защита изоляции от внешних воздействующих факторов. В связи с этим надежность кабеля напрямую зависит от качества оболочки. На данный момент в качестве оболочек для НПК применяются следующие материалы [2]:

- полиэтилен высокой плотности (П);
- композиции полипропилена, сополимеры и блоксополимеры пропилена с этиленом (Пп);
- резины на основе этиленпропиленового каучука (Э);
- термоэластопласты (Т);
- резины на основе нитрильного каучука (Н);
- свинец и его сплавы (С)
- фторопласты (Ф).

Ни одно современное производство не может обойтись без применения таких как материалов как EPDM (ethylene propylene diene monomer) и резина губчатая ТМКЩ. Они создаются на основе пористой резины, которая отличается превосходными эксплуатационными характеристиками, высокой прочностью и долговечностью. Структура пористой резины уникальна: в ней содержится большое количество пустот. Именно эта особенность объясняет уникальные эксплуатационные свойства пористых резин. Одно из самых важных преимуществ пористых резин EPDM является их высокая способность к поглощению ударов и прочность, позволяющая сохранять форму и основные параметры резинотехнических изделий. Это свойство позволяет использовать пористые резины EPDM как материал для производства резинотехнических

изделий, предназначенных для эксплуатации в условиях регулярного воздействия существенных динамических нагрузок [12].

Морозостойкость резин из бутадиен-нитрильных каучуков (БНК) снижается при повышении содержания акрилонитрила (АН) в каучуке. По данным, значение  $T_{hr}$  для резин на основе БНК, содержащих 20, 28, 33, 40 и 50 % АН, составляет -57, -49, -42, -26 и -15 °С. При динамических испытаниях резин на основе БНК, содержащих 18, 28, 34 и 39 % АН, значение  $T_c$  составляет -38, -28, -18 и -8 °С.

Вулканизирующая система, тип и содержание наполнителей мало влияют на морозостойкость резин из БНК, исключая повышенную морозостойкость пероксидных вулканизаторов. По данным, морозостойкость радиационного и пероксидного вулканизаторов БНК на 10 °С выше, чем серных.

Добавление ПБ повышает морозостойкость резин из БНК, но увеличивает их набухание в топливах и маслах, рекомендуется добавление ББК. Морозостойкость резин из БНК снижается при введении в резиновую смесь ПВХ. В отличие от других показателей морозостойкости значение  $T_{hr}$  снижается при повышении содержания каучука в резиновой смеси и использовании активного технического углерода.

Свинец — очень пластичный металл и широко применяемый в промышленности, как в чистом виде, так и в виде сплавов с другими компонентами. Он хорошо поддается обработке, обладает хорошими литейными свойствами, но низкая механическая прочность и относительно высокая ползучесть ограничивают его применение как конструкционного материала.

Высокая стойкость свинца против коррозии во многих минеральных кислотах обусловила его широкое применение в химической промышленности для облицовки химической аппаратуры, трубопроводов и емкостей, для горячего свинцевания вместо лужения. Свинец стоек против коррозии потому, что на его поверхности образуется пленка гидроокиси при соприкосновении с

воздухом и пленка сернокислого свинца при соприкосновении с серной кислотой.

Фторопласты – это материалы, полученные химическим путем. Высокая прочность связи атомов фтора и углерода обуславливают хорошее сочетание ценных химических и физических свойств. Высокая термостойкость, исключительная стойкость к химическому воздействию, отличные механические свойства, а также способность сохранять эти свойства в широком диапазоне рабочих температур и давления делают фторопласт отличным материалом для оболочек нефтепогружных кабелей.

### **1.3 Методы оценки стойкости ЭИМ к действию агрессивных сред, характеристики для эксплуатации в скважине**

Кабельные изделия для УЭЦН часто подвержены воздействию химически агрессивных сред. Наиболее важными физико-химическими процессами при взаимодействии полимеров с агрессивными средами являются:

- 1) адсорбция компонентов агрессивной среды на поверхности полимера;
- 2) диффузия агрессивной среды в объём полимера;
- 3) химические реакции агрессивной среды с химически нестойкими связями полимера;
- 4) диффузия продуктов реакции к поверхности полимера;
- 5) десорбция продуктов реакции с поверхности полимера.

Вышеназванные процессы могут вызывать набухание (изменение массы и геометрических размеров), структурные изменения, а также физико-химические свойства (относительное удлинение и прочность при разрыве) полимерных материалов, которые определяют химостойкость кабельных изделий в целом. Набухание представляет собой процесс поглощения, или сорбции низкомолекулярных жидкостей (или их паров) полимером. При

набухании молекулы низкомолекулярной жидкости (или ее пара) проникают между элементами структуры полимера, вызывая межструктурное набухание, или внутрь структур, раздвигая макромолекулы (внутриструктурное набухание), при этом увеличивая его массу, объем и изменяя структуры. Такие изменения структуры и свойств могут как сопровождаться разрушением полимера, так и происходить без нарушения целостности полимерного материала [13].

Испытания, которым подвергаются полимерные материалы, нормируются согласно ГОСТ 25018-81 «Кабели, провода и шнуры. Методы определения механических показателей изоляции и оболочки». Настоящий стандарт устанавливает методы определения прочности (разрушающего напряжения) при растяжении и относительного удлинения при разрыве изоляции и оболочки кабелей, проводов и шнуров в исходном состоянии, после термического и других видов старения или воздействия масел, жидкого топлива, бензина.

Результатом оценки стойкости полимерных материалов к воздействию агрессивных сред служат количественные значения исследуемых параметров. Могут быть как отдельные характеристики, так и комплекс характеристик, такие как изменение массы и упруго-прочностные показатели. Набухание представляет собой физический процесс поглощения твердым веществом жидких веществ при отсутствии химических реакции с полимером. Образец считается выдержавшим испытания, если степень набухания изменяется в пределах  $\pm 20 \%$ . Что касается, физико-механических свойств, то значительные нежелательные изменения в упруго-прочностных показателях полимера констатируют факт об общем разрушении структуры изоляции и/или оболочки кабеля. Испытание образцов на растяжение после воздействия масел, топлива и бензина должно быть проведено по ГОСТ 270 и ГОСТ 11262. Согласно требованиям кабельной промышленности, образец полимера считается выдержавшим испытания на стойкость к действию агрессивных факторов, если

сохраняется не менее 70 % от его исходной прочности и не менее 50 % от исходного относительного удлинения при разрыве.

#### **1.4 Методы испытаний НПК**

Испытания на кабели для установок погружных электронасосов проводят по государственному стандарту ГОСТ Р 51777-2001. Основные испытания проводят на стойкость к механическим воздействиям, стойкость к внешним воздействующим факторам и проверку электрических параметров.

*Основные электрические параметры:*

- Электрическое сопротивление ТПЖ проверяют по ГОСТ 7229-76.
- Электрическое сопротивление изоляции основных жил готового кабеля проверяют по ГОСТ 3345-76. Электрическое сопротивление изоляции основных жил проверяют в воде после их выдержки в ней не менее 1 ч. Сопротивление изоляции должно быть не менее 2500 МОм на 1 км.
- Испытание напряжением изолированных жил проводят по ГОСТ 2990-78. Образец должен выдержать испытание напряжением не менее 5 мин.

*Стойкость к механическим воздействиям*

Кабели должны быть стойкими к изгибам при навивании на цилиндр диаметром, равным 15-кратному максимальному диаметру кабеля. Испытание проводят изгибанием образца кабеля вокруг цилиндра на угол  $360^0$ . При этом не должно происходить раскрытия замков брони на кабеле.

Также кабели должны выдерживать раздавливающую нагрузку не менее 158 кН. Испытание на раздавливание проводят на образцах кабеля уложенных между двумя пластинами, установленными в гидравлическом прессе. Для определения момента замыкания между жилами или между жилами и бронёй используют контрольную аппаратуру.

Изолированные жилы кабелей должны быть продольно герметичны. Испытание на герметичность проводят на образце длиной 5 м. На одном из концов кабеля предварительно снимают броню и изолированные жилы поочередно подсоединяют к маслопроводу. Испытание проводят при давлении 0,1 МПа. Каждую жилы выдерживают под давлением в течении 2,5 часов. При этом на другом конце кабеля не должно быть следов масла.

#### *Стойкость к внешним воздействующим факторам*

Кабели для УЭЦН должны быть стойкими к воздействию смены температур от минус 60 °С до длительно допустимой температуры нагрева жил. Образцы, свернутые в бухту, выдерживают в камере холода при минус 60 °С. Затем переносят в камеру тепла при установленной длительно допустимой температуре нагрева жил. Образцы выдерживают при указанных температурах в каждой из камер не менее 3 часов. Проводится 3 цикла воздействия пониженной и повышенной температур. После последнего цикла образцы выдерживают в нормальных климатических условиях и испытывают напряжением в течении 5 минут.

Также кабели должны выдерживать изгибы вокруг роликов диаметром, равным 15-кратному диаметру кабеля, при температуре воздуха минус 40 °С. Образец устанавливают в испытательное приспособление так, чтобы один из его концов был жестко закреплен, а сам образец был зафиксирован между роликами; длина свободного конца образца должна позволять его изгибание вокруг роликов. Приспособление с образцом помещают в камеру холода и выдерживают при температуре минус 40 °С не менее 4 часов. После выдержки в камере холода образец подвергают трем циклам изгибов вокруг роликов в противоположных направлениях на угол не менее 90° в каждую сторону. За один цикл принимают изгиб вправо (влево), выпрямление, изгиб влево (вправо) и выпрямление. После последнего цикла изгибов образец выдерживают в



нормальных климатических условиях не менее 3 ч, после чего испытывают напряжением в течении 5 минут [1].

Перечисленные методы испытаний позволяют оценить соответствие качество готового кабельного изделия. Данные методы испытаний являются обязательными при разработке технических условий на кабели, производстве кабелей на предприятиях-изготовителях и сертификации кабелей.

### **1.5 Выводы, постановка задач на исследование**

#### **Выводы:**

1) Изоляция нефтепогружного кабеля – это основной элемент, обеспечивающий его функционирование. Для сохранения электроизоляционных свойств изоляции необходимо применить оболочку, которая будет обеспечивать защиту от воздействия эксплуатационных факторов.

2) Основной причиной отказа кабельной линии служит воздействие на него целого комплекса факторов, включая высокую температуру, химический состав окружающей среды, воздействие механических нагрузок. Все эти факторы приводят к повреждению или разрушению защитных покровов кабеля и как следствие к ухудшению электроизоляционных свойств изоляции.

3) Стойкость полимерных материалов к воздействию агрессивной среды характеризуется прежде всего такими физико-механическими характеристиками как прочность и относительное удлинение при разрыве и набухание.

4) В настоящее время актуальной задачей является разработка конструкций НПК с повышенной стойкостью к воздействующим нагрузкам. Это позволит продлить срок службы кабельной линии. Для этого, прежде всего, необходимо разрабатывать и применять новые полимерные материалы.

5) Проведение комплексной оценки изменения массы, прочности и относительного удлинения образцов материала, после выдержки в агрессивной среде, позволит сделать обоснованный выбор полимерных материалов для их применения в качестве изоляции/оболочки нефтепогружных кабелей.

**Задачи:**

1) Анализ физико-механических свойств полимерных материалов и обзор методов оценки материалов на основе литературных данных;

2) Отработка методики проведения испытаний по оценки стойкости полимерных материалов к действию эксплуатационных факторов характерных для работы нефтепогружного кабеля;

3) Определить критерии оценки применимости материалов;

4) Исследовать изменения физико-механических свойств полимерных материалов под действием агрессивной среды;

5) Разработать рекомендаций по выбору и применению материалов для изготовления изоляции/оболочки НПК.

## **2. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **2.1 Методика подготовки образцов для определения механических свойств материалов**

Предварительная оценка свойств полимерных материалов производится на образцах в виде лопаток. Образцы полимерного материала поставляются в виде гранул плоской круглой формы без цвета (рисунок 4).



Рисунок 4- Полимерный материал в гранулированной форме

Материал перерабатывается на лабораторном экструдере Brabender 19/25 D с щелевой головкой (общий вид представлен на рисунке 5). Brabender представляет из себя установку для изготовления расплава полимеров с последующим продавливанием его через щелевую головку.

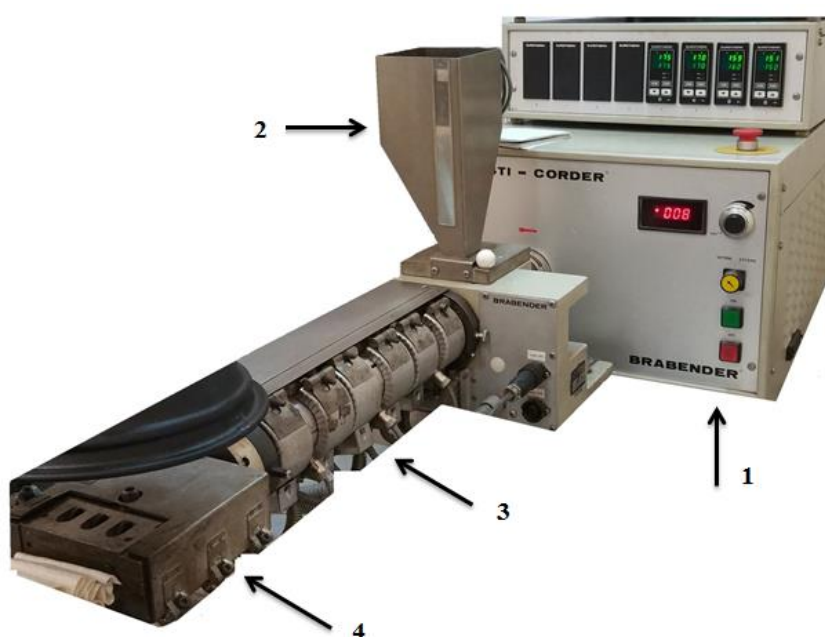


Рисунок 5 – основные узлы Brabender:

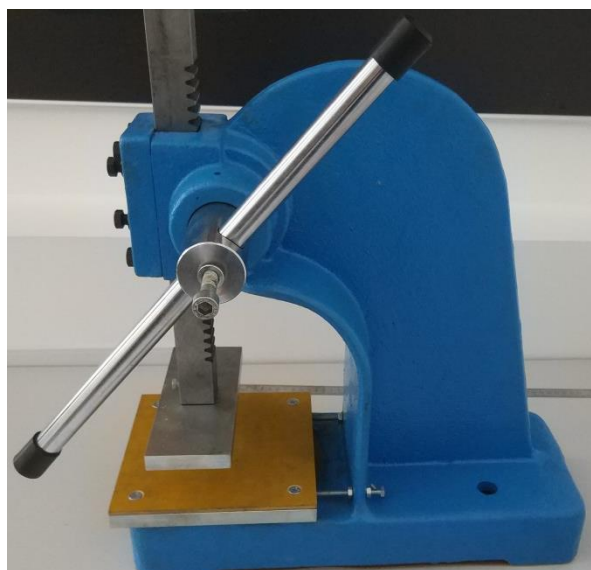
1) пульт управления; 2) зона загрузки; 3) экструдер; 4) щелевая головка экструдера

Условия переработки указаны в таблице 3. В результате переработки материала должна быть получена ровная, гладкая лента без посторонних включений и непроплавов.

Таблица 3 - Условия переработки материалов

Материал марки	Температура по зонам, °С				Обороты шнека, об/мин
	Зона 1	Зона 2	Зона 3	Головка	
Кynar Flex	200	210	220	225	45

Из этой ленты с помощью вырубного ножа и прессы (рисунок 7) подготавливаются образцы в виде двусторонней лопатки (рисунок 8), в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ ИЕС 60811-1-1-2011.



а)



б)

Рисунок 7 – Оборудование для подготовки образцов.

а) пресс; б) вырубной нож.

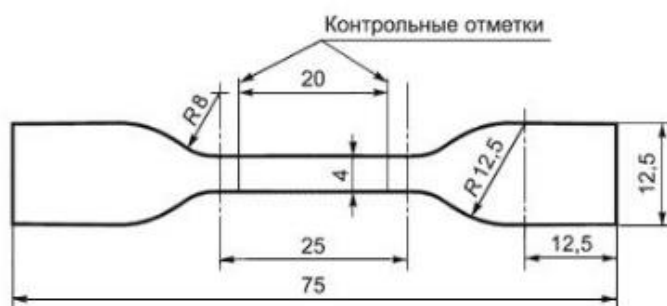


Рисунок 8 – Образец в виде двусторонней лопатки

## 2.2 Методика взвешивания образцов

Изменение массы полимера происходит в результате набухания. Для определения изменения массы необходимо провести взвешивание в исходном состоянии и во время старения. Для взвешивания образцов используются лабораторные весы ВЛ-210 (рисунок 9) с точностью до 0,1 мг.

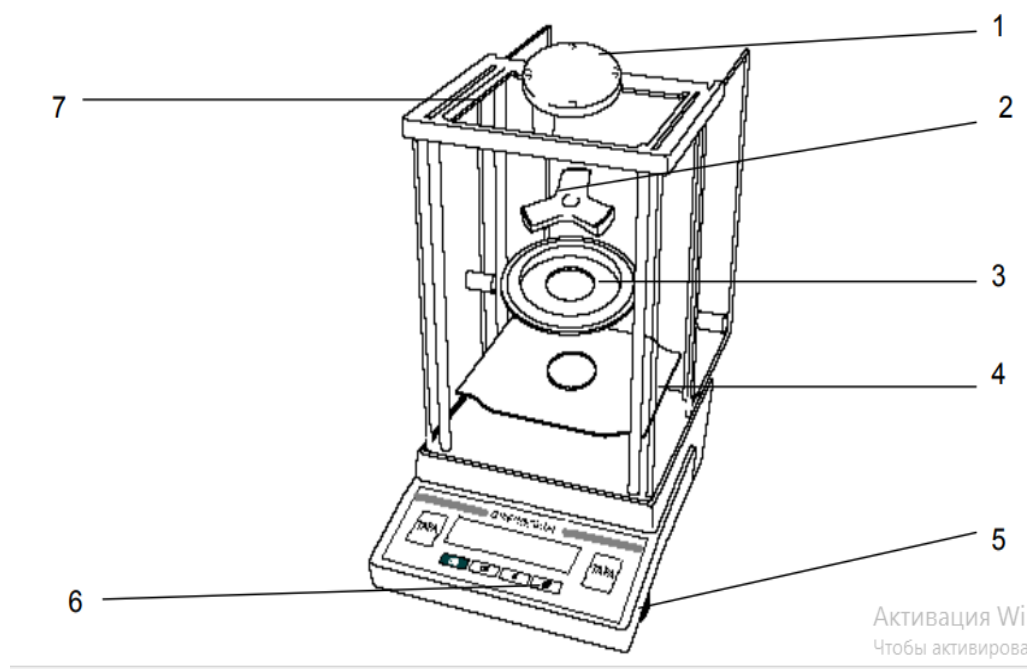


Рисунок 9 – Общий вид весов ВЛ-210.

1 – чашка; 2 – держатель чашки; 3 – защитное кольцо; 4 – пластина;  
5 – регулировочная ножка; 6 – панель управления; 7 – ветрозащитная витрина

Эксплуатация весов допускается при температуре воздуха в помещении от 15 до 25 °С, относительной влажности воздуха от 30 до 80 %. Перед началом работы необходимо:

1) включить весы в сеть через блок питания, нажать клавишу «ВКЛ» для включения весов и выдержать их во включенном состоянии не менее 30 мин (при этом дверцы ветрозащитной витрины должны быть открыты), только по истечении этого времени весы достигают требуемой рабочей температуры и могут производить точные измерения;

2) после прогрева весов выполнить их калибровку в следующей последовательности:

- закрыть дверцы витрины;

- обнулить показания весов, нажав на клавишу ТАРА;
- нажать клавишу ТАРА и удерживать её до появления на индикаторе значения массы гири для калибровки;
- открыть дверцу витрины, поместить гирю в центр чашки, закрыть дверцу витрины;
- весы калибруются автоматически;
- появление на индикаторе значения массы гири с символом установления показаний и звукового сигнала свидетельствует о завершении процесса калибровки;
- снять гирю, на индикаторе установятся нулевые показания. Весы готовы к работе.

Взвешивание проводилось после каждого цикла испытаний для определения изменения массы исходных образцов и образцов после старения.

## 2.3 Методика выдержки в агрессивной среде

Старение полимеров - это комплекс химических и физических изменений, приводящих к необратимым изменениям свойств материала. Старение полимеров под воздействием агрессивных сред в лабораторных условиях проводится согласно межгосударственному стандарту ГОСТ ИЕС 60811-2-1-2011. Предлагаемый стандарт рассматривает методы испытаний полимерных материалов изоляции и оболочек кабельных изделий на озоностойкость, тепловую деформацию и маслостойкость.

Методика проведения старения, заключается в погружении образцов в металлические емкости с агрессивными средами. Далее образцы выдерживаются в течение установленного времени. После выдержки образцы извлекаются из агрессивной среды, удаляются излишки жидкостей. Затем образцы выдерживаются на воздухе при температуре окружающей среды не менее чем на 16 ч и не более чем на 24 ч для максимального удаления остатков жидкости. После этого проводится измерение массы каждого образца.

В качестве агрессивных жидкостей были выбраны имитатор пластовой жидкости (ИПЖ) и жидкость нефтяная стандартная для испытания резин (СЖР-1). ИПЖ представляет собой смесь воды и индустриальной масла в соотношении 50/50 и солей ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KI}$ ). Данный состав приближен к составу пластовой жидкости. СЖР-1 (ТУ 38.10195-86) это хорошо очищенный нефтяной продукт остаточного происхождения из сернистых нефтей.

После подготовки ИПЖ в металлической капсуле из-за различной плотности масла и воды после смешивания масло поднимается на верхний слой, а вода оседает на нижний слой (рисунок 10). В связи с этим старение образцов происходит в разных средах: верхний уровень - старение в масле, нижний уровень - старение в воде.

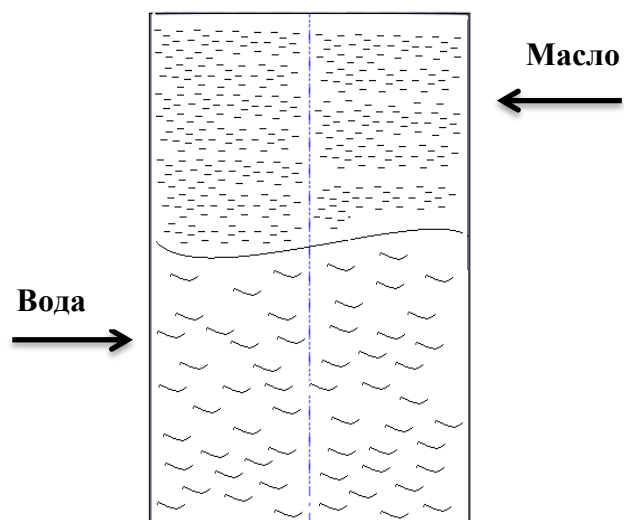


Рисунок 10 – Распределения ИПЖ в объеме капсулы

Образцы с помощью металлических крючков подвешиваются на металлическую рамку с последующим погружением в капсулы с ИПЖ и СЖР-1 (рисунок 11). После гермитизации капсул их нужно поместить в предварительно разогретые термошкафы.



а)



б)

Рисунок 11 – Общий вид образцов

а – образцы подвешенные на металлическую рамку; б) погружение образцов в ИПЖ



## **2.4 Методика определения предела прочности и относительного удлинения при разрыве**

Стойкость материалов, являющихся сырьем для производства кабельного изделия, к старению определяет срок службы готового изделия. Скорость старения зависит от чувствительности материала к воздействию агрессивных факторов. Результатом физико-химических процессов является ухудшение механических свойств материала. Поэтому для оценки надежности готового кабельного изделия проводится анализ изменения характеристик материала, подверженного воздействию агрессивной среды.

Испытания механических свойств полимеров в лабораторных условиях проводится согласно межгосударственному стандарту ГОСТ ИЕС 60811-1-1-2011. Предлагаемый стандарт рассматривает методы испытаний полимерных материалов изоляции и оболочек электрических и оптических кабелей, проводов и шнуров для распределения энергии и связи, включая судовые кабели, и методы измерения толщин и наружных размеров и определения механических свойств наиболее распространенных видов композиций для изоляции и оболочки.

Такого рода испытания позволяют определить такие механические свойства, как прочность при разрыве и относительное удлинение при разрыве материала в исходном состоянии и после процесса старения в течение определенного времени.

В качестве оборудования для проведения испытаний используется двухколонная испытательная машина INSTRON 3365 (рисунок 12). Машина данного типа предназначена для испытаний материалов на растяжение, сжатие, изгиб и разрыв.

Основные характеристики INSTRON 3365:



- Допустимая погрешность оборудования -  $\pm 1$ ;
- Усилие 5 кН;
- Максимальная скорость 1000 мм/мин;
- Вертикальное испытательное пространство 1193 мм.

Образцы, изготовленные по п.2.1, помещаются между зажимами разрывной машины. Далее производится фиксация образца и запуск установки на рабочем дисплее. После разрыва образца, на монитор выводятся данные результатов испытания.

Рисунок 12 - Двухколонная  
испытательная машина  
INSTRON 3365

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1 Объект исследования

В качестве объекта исследования использовались образцы поливинилиденфторида (ПВДФ) марки Kynar Flex, который представляет собой фторированный полукристаллический термопласт, получаемый путем полимеризации винилиденфторида. Kynar Flex производится французской компанией Arkema, один из лучших производителей полимеров в мире. Данный материал обладает высокой химической стойкостью по отношению к большинству кислот и галогенов, а также низкой проницаемостью для большинства газов и жидкостей. Kynar Flex имеет высокую термостойкость.

ПВДФ – полимер со степенью кристалличности от 60 до 80 % и плотностью 1,77-1,78 г/см<sup>3</sup>. ПВДФ является термопластичным материалом, который плавится при температуре 170-180 °С, температура кристаллизации

141-151 °С, температурой стеклования минус 40 °С. Перерабатывается материал при температуре 200-250 °С.

ПВДФ Kynar Flex обладает высокой механической прочностью, износостойкостью, стойкостью к ультрафиолетовому излучению. Материал белого цвета, поэтому он легко окрашивается в яркие цвета. ПВДФ Kynar Flex выпускаются в гранулированной форме, что облегчает процесс их переработки при компаундировании, формировании и экструзии.

ПВДФ наиболее жесткий и самый прочный из всех фторполимеров, обладает значительной стойкостью к продавливанию и истирающим нагрузкам. Механические характеристики при повышенной температуре сохраняются на высоком уровне. Наиболее важными свойствами ПВДФ Kynar Flex являются:

- превосходная химическая стойкость к большинству агрессивных веществ и растворителей;
- превосходная механическая прочность и жесткость;
- высокая стойкость к истиранию;
- способность выдерживать высокие температуры: допускается непрерывная эксплуатация при температурах до 150 °С;
- прекрасное сопротивление старению;
- высокая степень чистоты;
- стойкость к воздействию ультрафиолетового и радиоактивного излучения;
- прекрасная природная огнестойкость;
- низкая проницаемость для большинства газов и жидкостей;
- легкость переработки типовыми способами экструзии и формования.

После переработки материала была получена лента (рисунок 13) из которой были заготовлены образцы по п. 2.1 (рисунок 14).



Рисунок 13 – Лента Kynar Flex на выходе из пресса



Рисунок 14 – Образцы материала на старение в ИПЖ

### **3.2 Определение изменения механических свойств материала после выдержки в агрессивной среде**

Были выбраны контрольные точки для измерения массы и физико-механических характеристик после старения: 3, 6, 9, 14, 20 и 25 суток. На каждую контрольную точку, для каждой среды, было подготовлено по пять образцов. Всего было заготовлено 90 образцов на старение и 5 образцов для измерения исходных физико-механических характеристик. Образцы старились (п. 2.3) в трех различных средах при температуре окружающей среды 135 °С: ИПЖ (вода); ИПЖ (масло); СЖР-1.

При достижении первой контрольной точки капсулы достали из термошкафов и охлаждали до комнатной температуры. Первые пять образцов вынимались из каждой агрессивной среды (рисунок 15), протирались от остатков жидкостей и выдерживались на воздухе не менее 16 ч. Далее проводилось взвешивание образцов и измерение физико механических характеристик на разрывной машине (рисунок 16).

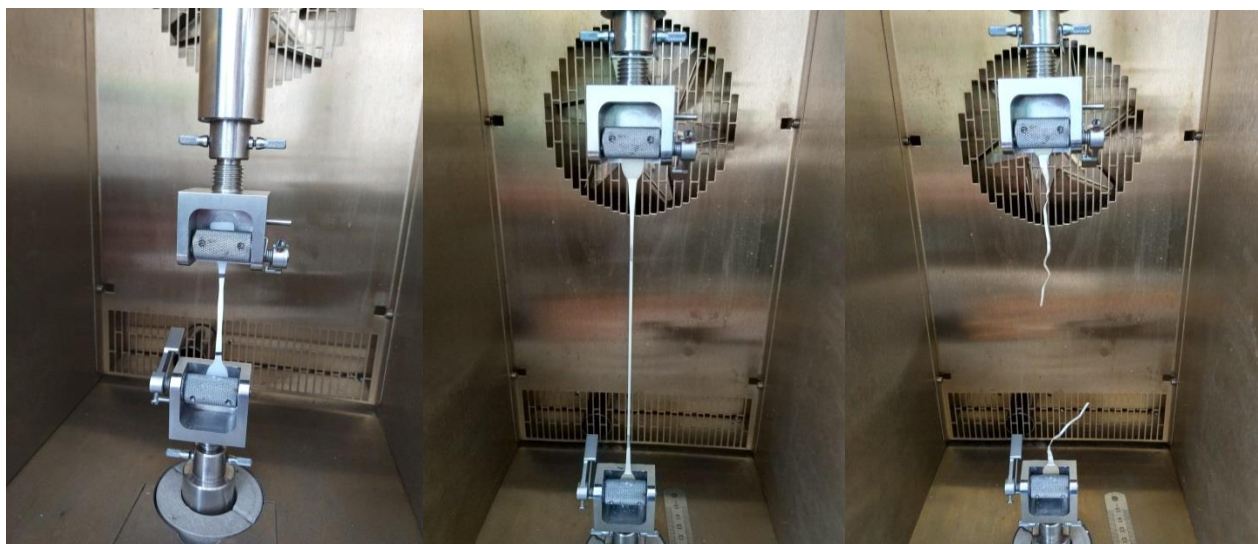


а)

б)

Рисунок 15 – Общий вид образцов после 3-х суток старения.

а – ИПЖ (масло); б – ИПЖ (вода).



а)

б)

в)

Рисунок 16 – Процесс измерения физико-механических характеристик образца после старения в ИПЖ.

а – образец в начале испытания; б – образец в середине испытания;

в – разрушение образца в конце испытания.

Остальные образцы загружались обратно в капсулы до следующей контрольной точки. При достижении последующих контрольных точек производились аналогичные действия перечисленные выше.

После завершения испытаний образцов из последней контрольной точки были получены экспериментальные данные, которые необходимо будет сравнить с данными полученными ранее на материалах Akaflex и Akahard.



### 3.3 Оценка изменения массы

После извлечения образцов из капсул, протирания и выдержки в нормальных климатических условиях, проводилось взвешивание в соответствии с методикой указанной в п. 2.2 (рисунок 17).

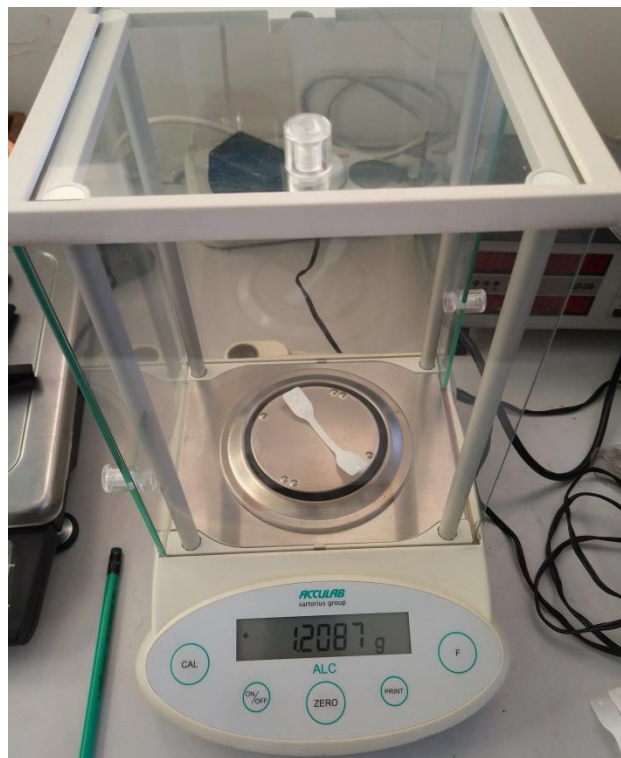


Рисунок 17 – Взвешивание образцов после старения в ИПЖ (масло)

### 3.4 Обработка экспериментальных результатов

Результаты изменения массы, прочности и относительного удлинения при разрыве сведены в таблицы 4-6 и представлены на рисунках 18-21.

Таблица 4 – Результаты определения предела прочности при разрыве образцов материала

Материал	Старение, сутки	Прочность при разрыве, МПа		
		Агрессивная среда		
		ИПЖ (вода)	ИПЖ (масло)	СЖР-1
Kynar Flex	0	26,6	26,6	26,6
	3	27,7	27,4	29,4
	6	28,0	25,5	29,6
	9	26,8	25,5	29,2
	14	25,6	27,5	26,4
	20	28,6	26,4	31,0
	25	27,7	27,4	29,4
Akaflex	0	43,6	43,6	43,6
	3	42,8	42,7	41,8
	6	40,8	40,7	39,8
	9	42,8	39,5	42,6
	14	41,8	35,5	38,4
	20	35,4	27,4	41,5
	25	34,3	36,6	39,4
Akahard	0	50,4	50,4	50,4
	3	33,0	33,3	34,5
	6	34,1	33,0	32,5
	9	34,2	35,0	33,9
	14	31,9	32,0	32,3
	20	30,4	31,4	32,3
	25	32,0	32,0	33,0

Таблица 5 – Результаты определения относительного удлинения при разрыве образцов материала

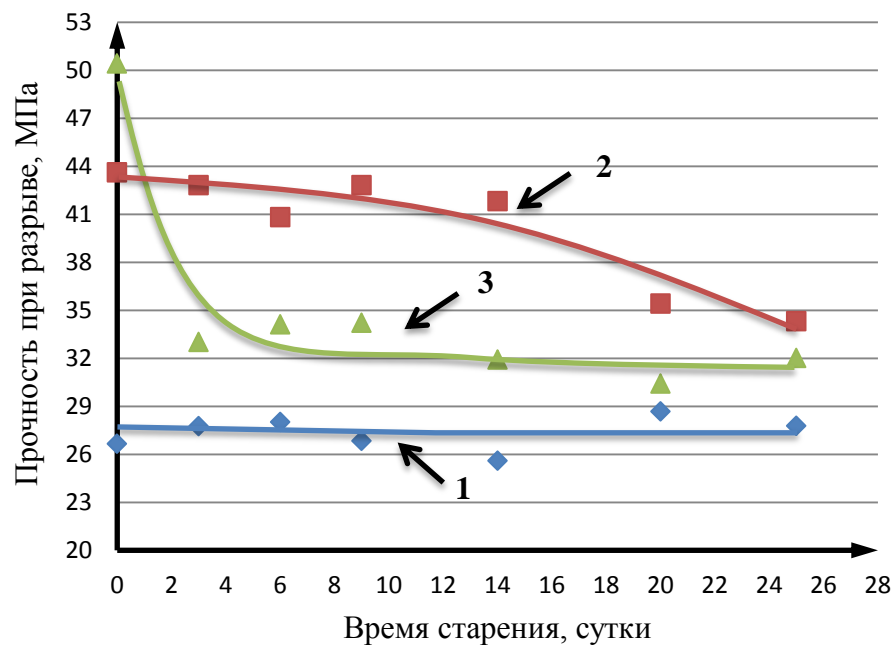
Материал	Старение, сутки	Относительное удлинение при разрыве, %		
		Агрессивная среда		
		ИПЖ (вода)	ИПЖ (масло)	СЖР-1
Kynar Flex	0	550	550	550
	3	571	583	599
	6	586	550	585
	9	590	564	601
	14	567	583	569
	20	593	551	603
	25	575	566	589
Akaflex	0	520	520	520
	3	519	530	519
	6	511	512	507
	9	518	489	505
	14	519	505	533
	20	469	426	511
	25	481	485	471
Akahard	0	451	451	451
	3	149	67	154
	6	113	68	105
	9	89	90	98
	14	61	59	74
	20	45	51	57
	25	57	50	78

Таблица 6 – Результаты определения массы образцов материала

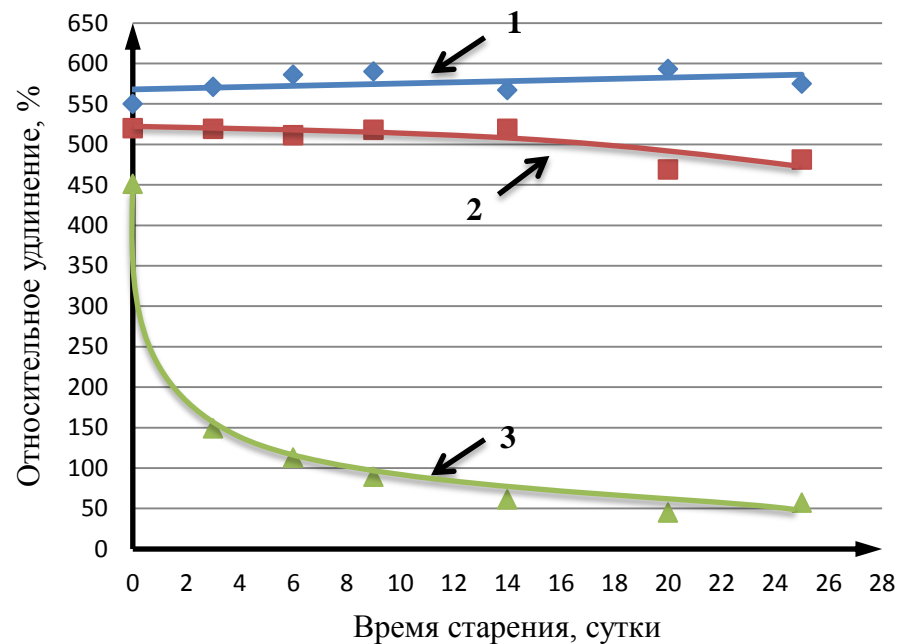
Материал	Старение, сутки	Масса, г								
		ИПЖ (вода)			ИПЖ (масло)			СЖР-1		
		до	после	изменение, мг	до	после	изменение, мг	до	после	изменение, мг
Kynar Flex	3	1,221	1,229	7,52	1,229	1,236	7,06	1,220	1,223	2,9
	6	1,227	1,235	7,78	1,230	1,236	5,68	1,216	1,218	2,48
	9	1,223	1,231	7,58	1,204	1,209	4,24	1,212	1,215	2,48
	14	1,216	1,224	8,20	1,219	1,223	4,5	1,227	1,230	2,24
	20	1,235	1,244	9,18	1,228	1,233	5,02	1,198	1,201	2,64
	25	1,206	1,217	10,14	1,233	1,237	4,02	1,220	1,222	2,84



По данным таблицы 4 и 5 строим графики изменения прочности и относительного удлинения при разрыве от времени старения.



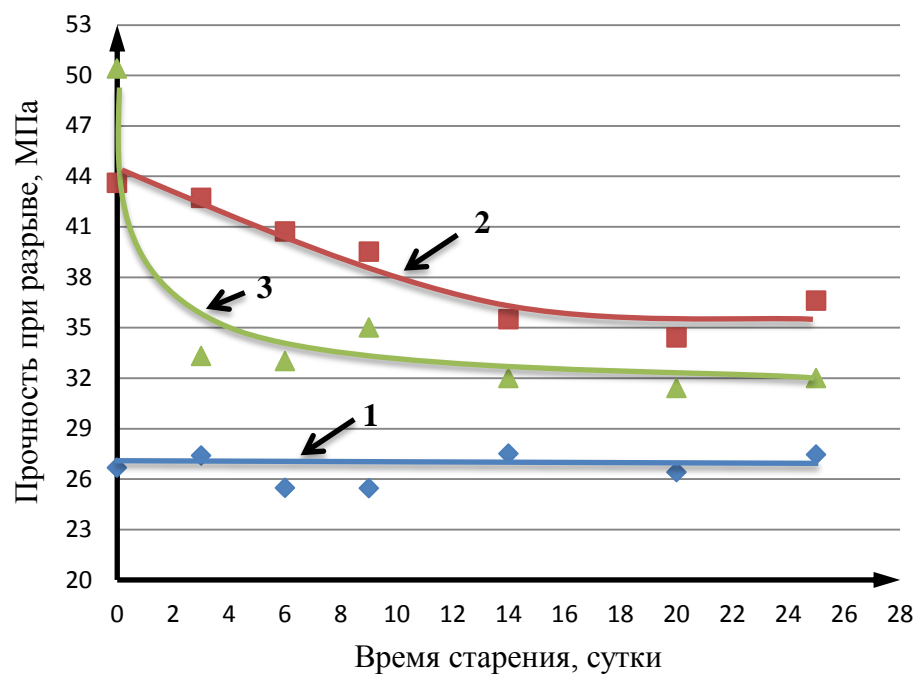
а)



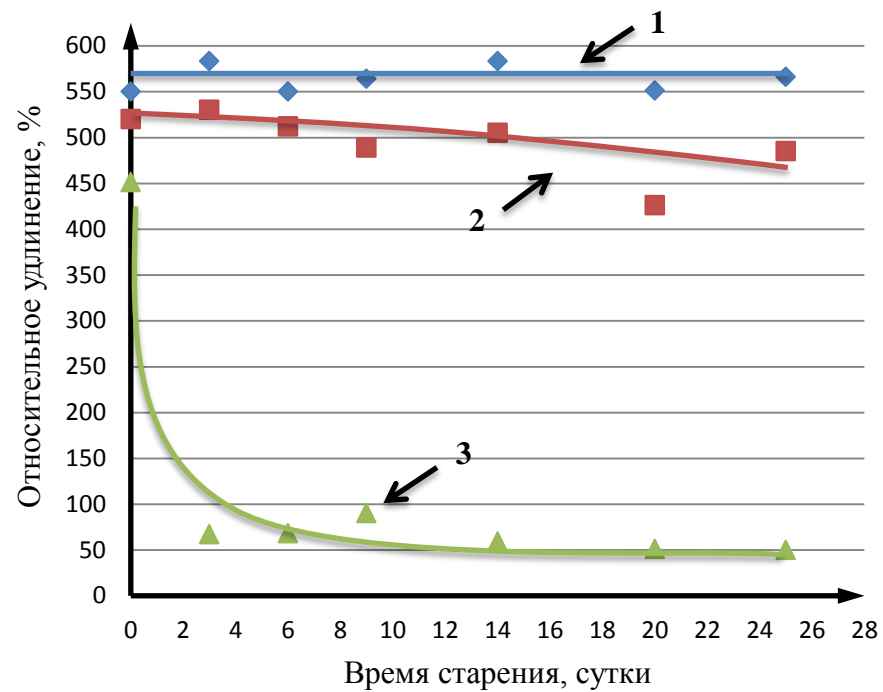
б)

Рисунок 18 – Изменение прочности (а) и относительного удлинения (б) образцов материала в процессе старения в ИПЖ (вода).

1) Kynar Flex; 2) Akaflex; 3) Akahard.



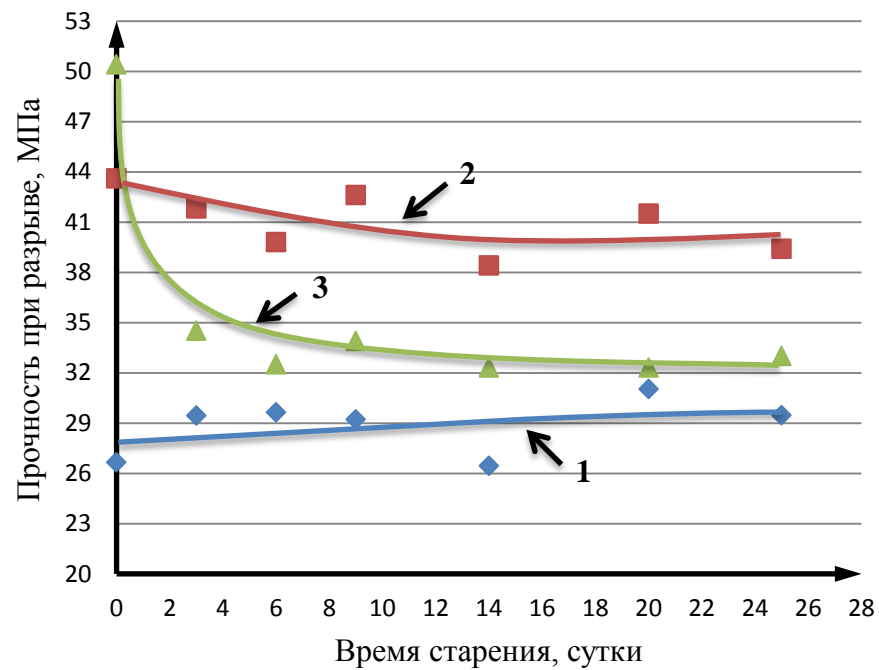
а)



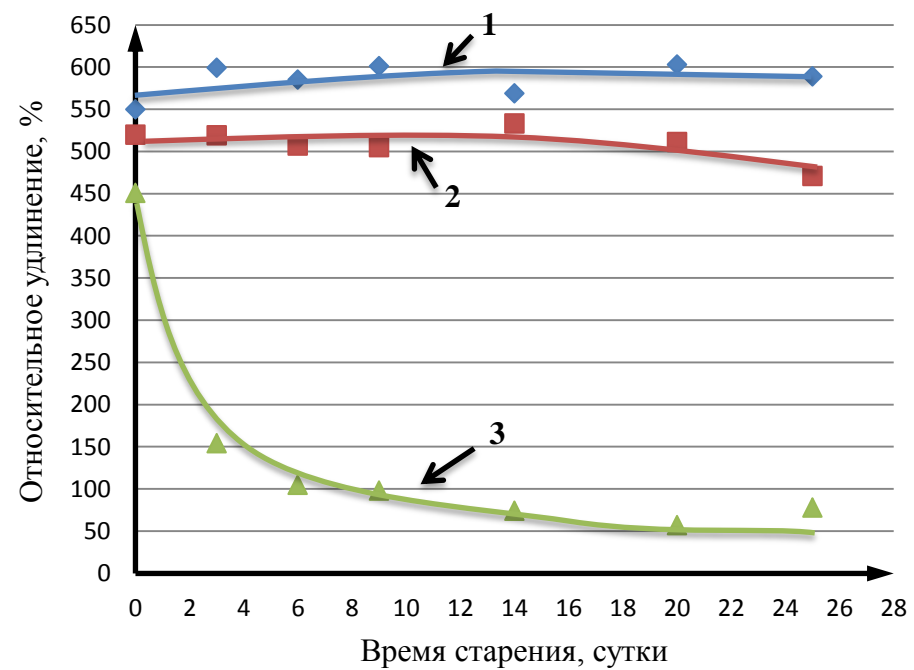
б)

Рисунок 19 – Изменение прочности (а) и относительного удлинения (б) образцов материала в процессе старения в ИПЖ (масло).

1) Kynar Flex; 2) Akaflex; 3) Akahard.



а)



б)

Рисунок 20 – Изменение прочности (а) и относительного удлинения (б) образцов материала в процессе старения в СЖР-1.

1) Kynar Flex; 2) Akaflex; 3) Akahard.

По данны таблицы 6 строим график изменения массы от времени старения материала Kynar Flex.

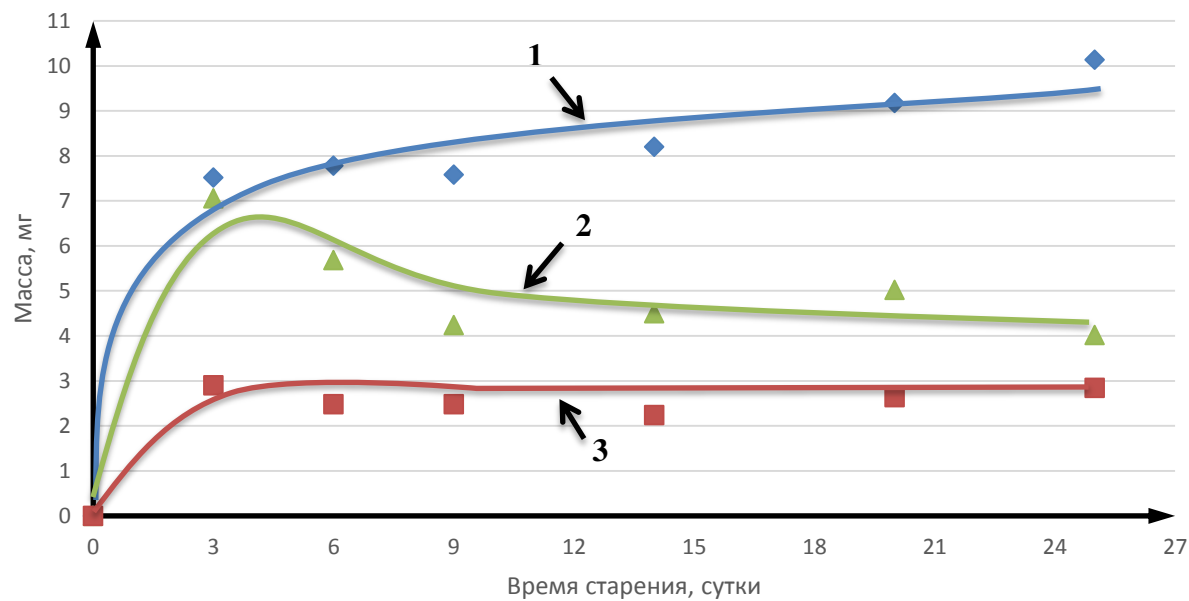


Рисунок 21 – Изменение массы образцов материала Kynar Flex в процессе старения  
1) ИПЖ (вода); 2) ИПЖ (масло); 3) СЖР-1.

## **Выводы**

1) По результатам испытаний самая высокая прочность при разрыве в исходном состоянии у материала Akahard, но при этом у него самое низкое относительное удлинение при разрыве. Это свидетельствует о большем количестве межмолекулярных связей и как следствие большей жесткости материала. После первой контрольной точки у материала Akahard наблюдается резкое ухудшение характеристик. Характер старения материала в различных средах разный. Изменение относительного удлинения при старении данного материала в ИПЖ в масляном слое происходит более резко по сравнению с остальными средами старения и после 3-х суток старения ухудшение составляет 85 %. Практически одинаково изменяется относительное удлинение при старении материала в средах СЖР-1 и в ИПЖ (вода), и после 3-х суток старения ухудшение составляет 67 %. Однако, после 25 суток старения относительное удлинение материала марки Akahard имеет практически одинаковое значение во всех средах, и в среднем составляет 88 % от исходного значения. При этом характер изменения прочности при разрыве материала в разных средах одинаковый. После 3-х суток происходит резкое снижение прочности во всех средах. Ухудшение составляет примерно 34 % от исходного значения. При дальнейшем времени старения материал стабилизируется, и изменение прочности практически не происходит. В итоге после 25 суток старения во всех средах ухудшение прочности составило примерно 36 %.

2) У материала Akaflex также происходит ухудшение прочности и относительного удлинения при разрыве с течением времени старения. В отличие от материала Akahard, ухудшение характеристик происходит плавно. После 25 суток старения самое высокое снижение прочности было в среде ИПЖ в водном слое и составило 21 %, а самое низкое в среде СЖР-1 которое составило 10 %. В свою очередь в среде ИПЖ в масляном слое снижение составило около 15 %. При этом характер снижения относительного удлинения

во всех средах был практически одинаковым, и составил 9 % от исходного значения.

3) По сравнению с двумя предыдущими материалами, материал Kynar Flex с течением времени старения не зависимо от среды вел себя стабильно. Ухудшение характеристик не наблюдалось. Это связано с высоким значением энергии связи Н-С-F.

4) Снижение относительного удлинения происходит в результате уменьшения сил межмолекулярного взаимодействия. Снижение прочности при разрыве связано с процессом сорбции. Уменьшение прочности при сорбции полимера может быть вызвано двумя причинами. Во-первых, возникновением внутренних напряжений вследствие неравномерного набухания. В результате при определенной степени набухания в полимерном материале могут образовываться внутренние дефекты, трещины и микротрещины. Во-вторых, прочность может изменяться из-за уменьшения энергии межмолекулярных взаимодействий.

5) На основании полученных результатов можно сделать вывод, что материал марки Akahard более жесткий и с течением времени старения его жесткость увеличивается, что отрицательно скажется на эксплуатационных характеристиках готового изделия.

Материал марки Kynar Flex в исходном состоянии более гибкий и с течением времени старения не снижает свои физико-механические свойства, что делает данный материал потенциальным сырьем для изготовления элементов конструкции кабелей для установок погружных электронасосов.

Материал Akaflex с течением времени старения незначительно снижает свои физико-механические свойства. В связи с этим материал Akaflex также можно применить для изготовления элементов конструкции нефтепогружных кабелей.

В дальнейшем будут изготовлены опытные образцы с применением данных материалов. Оценка поведения материалов в готовой конструкции кабельного изделия позволит сделать окончательные выводы по применению данных материалов для производства НПК.

#### **4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Целью данного раздела является обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом детально рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

**Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:**

- Составление SWOT-анализа работы и эксплуатации ремонтно-механического цеха ферросплавного завода
- Планирование технико-конструкторских работ
- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

##### **4.1 SWOT-анализ работы ремонтно-механического цеха ферросплавного завода**

SWOT-анализ представляет собой метод анализа планирования производственной или научной деятельности, разделяющий факторы или явления на следующие категории: strengths (сильные стороны), weaknesses (слабые стороны), opportunities (возможности) и threats (угрозы), и состоящий из нескольких этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 1.



Таблица 1 - Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны:</b>  С1. Разработка собственной научной и производственной базы для исследования. С2. Разработка материала с необходимыми техническими характеристиками. С3. Доработка недостающей информации о характеристиках исследуемого типа материала. С4. Разработка своей методики проведения испытаний материала.	<b>Слабые стороны:</b>  Сл1. Для проведения испытаний нужно привлечение других организаций. Сл2. Дороговизна используемого материала по сравнению с аналогами. Сл3. Высокие требования к характеристикам исследуемого материала. Сл4. Необходимость сравнительного анализа характеристик.
<b>Возможности:</b>  В1. Увеличение срока службы готового объекта.  В2. Использование продукта в агрессивных условиях эксплуатации.  В3. Создание методики оценки материалов.	1. За счет своей исследовательской базы не необходимости обращаться в сторонние организации;  2. При достаточно хороших характеристиках спрос на материал будет хороший;  3. За счет получения недостающей информации можно будет сделать выводы о рентабельности материала;  4. Методика позволяет определить нужные характеристики материала.	1. Благодаря хорошей организации можно ускорить процесс испытаний;  2. При соответствии всем требованиям спрос на материал будет высоким;  3. Благодаря имеющейся базы испытаний можно будет сказать о качестве материала.
<b>Угрозы:</b>  У1. Отсутствие спроса на материал  У2. Введение дополнительных требований к материалу  У3. Время проведения испытаний может увеличиться		1. При получении неточных результатов измерений, испытания придется проводить сначала, соответственно, их продолжительность продлится еще дольше;

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие).

Таблица 2 - Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4
	B1	-	+	+	-
	B2	-	+	+	+
	B3	+	-	-	+
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	+	-	-
	B2	+	-	-	-
	B3	-	-	+	+

Таблица 3 - Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4
	У1	-	+	+	-
	У2	+	+	-	+
	У3	+	-	-	+
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	-	+
	У2	-	+	+	+
	У3	+	-	-	-

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 2 и 3, показывает, что число сильных сторон у проекта количественно равно числу слабых. Аналогичная ситуация с количеством возможностей и угроз проведения исследований. Однако, если рассматривать возможности, то можно сделать вывод, что исследование будет эффективным, поскольку их влияние на сильные стороны проекта больше, чем на слабые. Что касается угроз, то влияние на сильные и слабые стороны одинаково.

## 4.2 Планирование научно-исследовательской работы

Планирование комплекса работ по научному исследованию состоит из нескольких этапов:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;

- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научного исследования.

#### 4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения выпускной квалификационной работы требуются исполнители в лице научного руководителя (НР) и студента-дипломника (СД). Также определяется перечень этапов в рамках исследования. Соотношение этапов и исполнителей приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Обзор научной и технической литературы	Студент-дипломник
Проведение испытаний исследуемого объекта	3	Заготовка образцов исследуемого материала	Студент-дипломник
	4	Определение условий испытания	Студент-дипломник, научный руководитель
	5	Испытания образцов в соответствующих условиях	Студент-дипломник, научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка результатов исследования	Студент-дипломник, Научный руководитель
Оформление отчета по научному исследованию	7	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник
	8	Проверка выпускной квалификационной работы	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	9	Подготовка к защите ВКР	Студент-дипломник, Научный руководитель
	10	Защита ВКР	Студент-дипломник

#### 4.2.2. Определение трудоемкости выполнения научного исследования

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях на основе ряда вероятностных оценок, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов, и рассчитывается следующим образом:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}i} + 2 \cdot t_{\text{max}i}}{5},$$

где  $t_{\text{ож}i}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\text{min}i}$  - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{max}i}$  - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{ч_i},$$

где  $T_{pi}$  - продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{\text{ож}i}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$ч_i$  - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Рассчитанные значения трудоемкости и продолжительности работы для выбранных исполнителей приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Календарная продолжительность работ

№	Название работы	Трудоёмкость работ, чел.-дн.						Длительность работ в рабочих днях	
		t <sub>min</sub>		t <sub>max</sub>		t <sub>ожі</sub>			
		НР	СД	НР	СД	НР	СД	НР	СД
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	1	-
2	Обзор научной и технической литературы	-	7	-	14	-	9,8	-	10
3	Заготовка образцов исследуемого материала	-	1	-	2	-	1,4	-	1
4	Определение условий испытания	1	1	3	3	1,8	1,8	2	2
5	Испытания образцов в соответствующих условиях	42	42	50	50	45,2	45,2	45	45
6	Оценка результатов исследования	1	3	3	5	1,8	3,8	2	4
7	Составление пояснительной записки	-	4	-	8	-	5,6	-	6
8	Проверка выпускной квалификационной работы	1	-	3	-	1,8	-	2	-
9	Подготовка к защите ВКР	2	2	5	5	3,2	3,2	3	3
10	Защита ВКР	-	1	-	1	-	1	-	1

Примечание: минимальное  $t_{\min}$  и максимальное время  $t_{\max}$  получены на основе экспертных оценок.

#### 4.2.3. Разработка графика проведения технического проекта

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [15].

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР [15]. На основе таблицы 5 строим план-график проведения работ (таблица 6).

Таблица 6 - Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп-ли	Т <sub>р</sub> , раб.дн.	Продолжительность выполнения работ, раб. дн.																											
				3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75			
1	Составление и утверждение технического задания	НР	1																												
2	Обзор научной и технической литературы	СД	10																												
3	Заготовка образцов исследуемого материала	СД	1																												
4	Определение условий испытания	НР	2																												
		СД	2																												
5	Испытания образцов в соответствующих условиях	НР	45																												
		СД	45																												
6	Оценка результатов исследования	НР	2																												
		СД	4																												
7	Составление пояснительной записки	СД	6																												
8	Проверка выпускной квалификационной работы	НР	2																												
9	Подготовка к защите ВКР	НР	3																												
		СД	3																												
10	Защита ВКР	СД	1																												

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает порядка 2 месяцев. Продолжительность выполнения технического проекта составит 75 дней. Из них для каждого в отдельности:

- 72 дней - продолжительность выполнения работ студента-дипломника;
- 55 дней - продолжительность выполнения работ научного руководителя.

### 4.3 Составление сметы затрат на разработку ТП

Смета затрат включает в себя следующие статьи [14]:

- материальные затраты;
- полная заработная плата исполнителей технического проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

#### 4.3.1. Расчет заработной платы исполнителей темы

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 7.

Таблица 7 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Т <sub>р</sub> , раб.дн.	t <sub>работы</sub> , час./день	Т <sub>ч</sub> , час	С, руб/час	З, руб.
Научный руководитель	55	3	165	400	66000
Инженер	72	4	288	300	87400
<i>Итого</i>					<i>153400</i>

t<sub>работы</sub>, час./день – средняя загрузка в день;

С, руб/час – почасовая оплата;

Т<sub>р</sub>, раб.дн. – трудоемкость в днях;

Т<sub>ч</sub>, час – трудоемкость проекта в часах;

З, руб – заработная плата;

Пример расчета:

$$З = T_q \cdot C = 165 \cdot 400 = 66000 \text{ руб.}$$

#### 4.3.2. Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции [15].

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Доля, %
Затраты на оплату труда	153,4	63,6
Отчисления во внебюджетные фонды	41,6	17,3
Накладные расходы	24,4	10,1
Прочие расходы	21,8	9,0
<i>Итого</i>	<i>241,2</i>	<i>100,0</i>

Исходя из сметы затрат, на технический проект требуется 241,2 тыс.рублей. Согласно диаграмме Ганта продолжительность всей работы составила 75 рабочих дней.

#### 4.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [14]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  - интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  - весовой коэффициент разработки;



$b_i$  - балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к исследуемому изоляционному материалу и готовому кабельному изделию:

1. Стойкость - одно из свойств полимера, характеризующее возможность изменения его характеристик при воздействии внешних факторов.
2. Безотказность - это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.
3. Негорючесть - это комплексная характеристика материала или конструкции кабельного изделия противостоять возгоранию и распространению процесса горения.
4. Эластичность - это свойство полимерного тела восстанавливать свою форму и размеры после прекращения действия внешних сил.
5. Дешевизна - низкий уровень цен на используемые в конструкции материалы.
6. Экологичность - это свойство, характеризующее безопасное влияние на окружающую среду при обработке или переработке материала.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка
1. Стойкость	0,20	5
2. Безотказность	0,22	5
3. Негорючесть	0,15	4
4. Эластичность	0,18	4
5. Дешевизна	0,10	3
6. Экологичность	0,15	5
<i>Итого</i>	<i>1,00</i>	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит [15]:

$$I_p = 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,22 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,18 + 3 \cdot 0,10 + 5 \cdot 0,15 = 4,47$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы стойкости и безотказности позволяют судить о надежности используемого материала.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект будет эффективным, так как влияние возможностей на сильные стороны проекта больше, чем на слабые, когда количество сильных и слабых сторон одинаково;
- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителей;
- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта в размере 241,2 тыс.рублей;
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,47 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

## **5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Данный раздел посвящен выполнению анализа и разработке мер по обеспечению благоприятных условий труда при выполнении магистерской диссертации. Произведен анализ вредных факторов таких как: отклонение показателей микроклимата в помещении, повышения уровня шума, повышения уровня вибрации, превышение электромагнитных излучений. Рассмотрены вопросы охраны окружающей среды, защиты в случае чрезвычайной ситуации, а так же правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

В рамках дипломного проекта были проведены исследования стойкости оболочки нефтепогружных кабелей к воздействию пластовой жидкости.

Эксперименты проводились в лаборатории ПАО «НИКИ г.Томск» в следующей последовательности:

- 1) Подготовка образцов для испытаний на старение в агрессивной среде (трансформаторное масло, СЖР);
- 2) Испытание образцов в исходном состоянии;
- 3) Старение образцов при различном времени воздействия агрессивной жидкости;
- 4) Испытание образцов после старения.

Для проведения экспериментов использовалось следующее оборудование:

- шарнирно-губцевый инструмент (бокорезы – для нарезки образцов необходимой длины);
- разрывная машина для определения механических характеристик.

### **5.1 Анализ вредных факторов**

Существует ряд факторов, которые могут привести к опасности для здоровья во время проведения работ в исследовательских лабораториях. Данные факторы могут привести к возникновению несчастных случаев, профессиональных заболеваний, а также пожаров и взрывов. Поэтому для

правильной организации работ по борьбе с травматизмом, профессиональными и общими заболеваниями рассмотрим вопросы охраны труда на рабочем месте.

Основные вредные факторы:

- испарение летучих продуктов;
- отклонение параметров микроклимата;
- повышенный уровень шума;
- недостаточная освещенность.

Влияние указанных неблагоприятных факторов приводит к снижению трудоспособности, вызванные переутомлением, что приводит к развитию профессиональных заболеваний.

Рассмотрим нормы, предъявляемые к выявленным факторам, и их способы реализации.

Основные опасные факторы:

- механическая опасность (работа с режущими инструментами);
- поражение электрическим током (при соприкосновении с токоведущими частями установки);
- вероятность пожара.

### **Вредные вещества**

В процессе проведения исследований одним из основных вредных факторов является испарение летучих продуктов из агрессивной среды. Испаренные летучие продукты могут нанести вред здоровью человека. Согласно [2] по степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделяют на четыре класса опасности:

- 1-й - вещества чрезвычайно опасные;
- 2-й - вещества высокоопасные;
- 3-й - вещества умеренно опасные;
- 4-й - вещества малоопасные.

Трансформаторное масло и СЖР относятся к малотоксичным веществам 4-го класса опасности [3,4]. Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны для вредных веществ 4-го класса – более 10 мг/м<sup>3</sup>.

Для устранения или уменьшения воздействия данного вредного фактора в лаборатории производится вентиляция помещения. Так как в здании изначально не было отведено места для установки искусственной вентиляции (воздуховодов), то помещение проветривается естественным способом, т.е. открывается окно на некоторое время в отсутствие рабочего персонала. Для увеличения эффекта вентиляции необходимо установить вытяжку с вентилятором (принудительная вентиляция).

### **Микроклимат**

Важную роль для здоровья человека играет состояние окружающей среды, метеорологические условия или микроклимат на производстве (в лаборатории).

Микроклимат определяют следующие параметры:

- температура воздуха в помещении, °С;
- относительная влажность воздуха, %;
- подвижность воздуха, м/с;
- тепловое излучение, Вт/м.

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека и определяются согласно [7]. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Температура воздуха является одним из ведущих факторов, определяющих метеорологические условия. Температура воздуха в помещении зависит, в

основном от производственного процесса, при осуществлении которого, выделяется тепло. Экспериментальные работы, которые проводились в лаборатории, можно отнести к категории легкой физической работы Ib (производство, сидя, стоя, не требует систематического физического напряжения). Оптимальная температура воздуха в холодный период года составляет  $+(21\div 23)^{\circ}\text{C}$ , в теплый период не более  $+(22\div 24)^{\circ}\text{C}$ . Для поддержания данной температуры воздуха в холодный период времени предусмотрены батареи центрального отопления.

Влажность воздуха влияет на теплообмен в организме человека, затрудняя или облегчая теплообмен организма с окружающей средой. Оптимальная норма относительной влажности должна составлять  $(40\div 60)\%$ , что соответствует условиям метеорологического комфорта при покое или легкой физической работе.

В производственных условиях подвижность воздуха создается конвекционными потоками воздуха, которые возникают в результате проникновения в помещение холодных масс воздуха, либо за счет разности температур в смежных участках производственных помещений, а также создается искусственно работой вентиляционных систем. Для холодного и теплого периодов оптимальная величина скорости движения воздуха составляет  $0,1\text{ м/с}$ .

Все оптимальные условия микроклимата в исследовательской лаборатории ПАО «НИКИ г.Томск» соблюдены, поэтому дополнительные мероприятия, направленные на улучшение условий, не требуются.

### **Шум**

С физиологической точки зрения шум рассматривают как звук, мешающий разговорной речи и негативно влияющий на здоровье человека.

Шумы в рассматриваемом помещении возникают как от внутренних источников, так и от внешних раздражителей. К внутренним источникам мы

относим технику и вентиляционное оборудование. Используемая в процессе проведения исследования техника производит мало шума, поэтому в помещении достаточно использовать звукопоглощение. Чтобы уменьшить шум, который проникает в помещение извне, достаточно установить уплотнение по периметру притворов окон и дверей. Для персонала, осуществляющего работающего при легкой физической нагрузке и напряженности легкой степени эквивалентный уровень звука не должен превышать 80 дБА в соответствии с [8].

### **Освещение на рабочем месте**

Правильно организованное освещение рабочего места обеспечивает сохранность зрения и нормальное состояние нервной системы, а также безопасность в процессе производства. Производительность и качество продукции также зависят от освещения. На рабочем месте освещение должно быть таким, чтобы работник мог без напряжения зрения выполнять свою работу. Усталость органов зрения зависит от таких факторов, как недостаток света, чрезмерная освещенность, неправильное направление света.

Выполняемая работа относится к классу «малой точности». Согласно [11] для освещения промышленных предприятий регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест – 200 Лк.

Для обеспечения нормативной освещенности необходимо использовать совмещенное освещение, при котором естественное дополняется искусственным. Искусственное освещение осуществляется с помощью электрических источников света двух видов: ламп накаливания и люминесцентных ламп. Использование энергосберегающих ламп, по сравнению с лампами накаливания, имеет существенные преимущества:

- по спектральному составу света они близки к дневному;
- высокая светоотдача (в 3-4 раза выше, чем у ламп накаливания);
- высокий КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД ламп накаливания);

- больше длительный срок службы.

Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами:

$H = 3,2$  – высота помещения, м;

$h_c = 0,2$  – расстояние светильников от перекрытия (свес), м;

$h_{\Pi} = H - h_c$  – высота светильника над полом, высота подвеса, м;

$h_p = 0,8$  – высота рабочей поверхности над полом, м;

$h = h_{\Pi} - h_c$  – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = H - h_p - h_c = 3,2 - 0,8 - 0,2 = 2,2 \text{ м.}$$

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A+B)} = \frac{48}{2,2 \cdot (8+6)} = 1,56,$$

где  $A$  - длина помещения, м;

$B$  - ширина помещения, м;

$S$  - площадь освещаемого помещения:

$$S = A \cdot B = 8 \cdot 6 = 48 \text{ м}^2.$$

По значению  $i$  выбираются коэффициент использования освещенности,  $\eta = 0,46$  для светильника типа ШОД, с учетом того, что помещение имеет свежепобеленный потолок ( $p_n = 70 \%$ ), свежепобеленные с окнами без штор ( $p_c = 50 \%$ ).

Разрабатывается план помещения и размещение светильников:

где  $L$  - расстояние между соседними светильниками или рядами (если по длине ( $A$ ) и ширине ( $B$ ) помещения расстояния различны, то они обозначаются  $L_A$  и  $L_B$ ), м;

$l$  - расстояние от крайних светильников или рядов до стены, м.



Оптимальное расстояние  $l$  от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным  $L/3$ .

Светильник ШОД имеет габаритные размеры 1530x284x155 мм.

Расстояние между светильниками  $L$  определяется как:

$$L = \lambda \cdot h = 1,2 \cdot 2,2 = 2,64 \text{ м},$$

где  $\lambda = 1,2$  - интегральный критерий оптимальности расположения светильников для светильника типа ШОД с защитной решеткой.

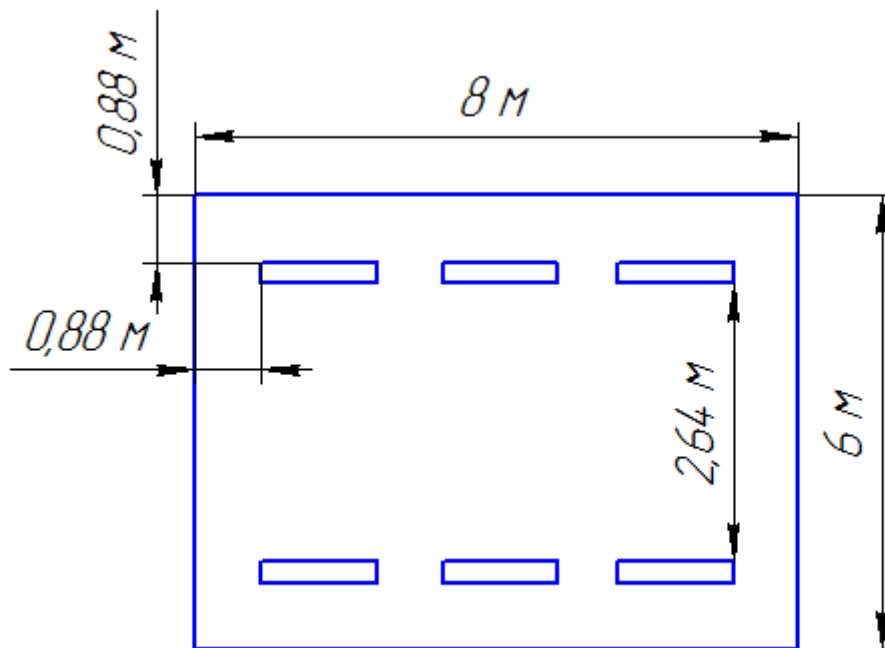


Рисунок 1 - План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Исходя из плана помещения и размещения светильников получается количество светильников равным  $n = 6$  (2 ряда светильников по 3 светильника в длину).

$$F = \frac{E_n \cdot K \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 48 \cdot 1,1}{6 \cdot 0,46} = 5340 \text{ Лм},$$

где  $E_n = 200$  - нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, Лк;

$K = 1,5$  - коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли;

$Z = 1,1$  - коэффициент неравномерности освещения для люминесцентных ламп.

По световому потоку выбираем люминесцентную лампу ЛБ-80. Мощность всей осветительной системы:

$$P = 12 \cdot 80 = 960 \text{ Вт.}$$

## **5.2 Анализ опасных факторов**

### **Электробезопасность**

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного для жизни воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Степень вредного и опасного воздействия на человека электрического тока и электрической дуги зависит от:

- величины и рода тока и напряжения;
- частоты электрического тока;
- пути тока через тело человека;
- продолжительности воздействия на организм человека.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- отсутствие или нарушение заземления оборудования;
- появление на корпусе оборудования электрического напряжения вследствие замыкания на корпус или пробоя на корпус;
- одновременное прикосновение к корпусу поврежденного прибора или к токоведущим частям с нарушенной изоляцией и к заземленному оборудованию;
- при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением.

Основными мерами предотвращения поражения электрическим током в лабораториях являются защита от прикосновения к находящимся под напряжением частям электрооборудования и применение защитного заземления.

Для исключения возможности случайного прикосновения или опасного приближения к токоведущим частям в лаборатории обеспечивается их недоступность путем ограждения, блокировок или расположения токоведущих частей на недоступную высоту.

Выбор комплекса мер защиты, электрозащитных средств и защитных мероприятий определяется видом электроустановки, величиной применяемого напряжения, условиями помещения, в котором расположена электроустановка и т.п.

Производственные помещения по степени опасности поражения людей электрическим током в соответствии с [5] подразделяется на три категории. Лаборатория ПАО «НИКИ г.Томск» относится к третьей категории, т.е. к помещениям без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие «повышенную опасность» и «особую опасность».

### **Зануление**

Защитное зануление в электроустановках напряжением до 1 кВ – преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Зануление применяется в четырехпроводных сетях напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью.

При занулении корпуса электрооборудования соединяются не с заземлителями, а с нулевым проводом.

Принцип действия: зануление превращает замыкание на корпус в однофазное короткое замыкание, в результате чего срабатывает максимальная токовая защита и селективно отключает поврежденный участок сети. Кроме того, зануление снижает потенциалы корпусов, появляющиеся в момент замыкания на землю. При замыкании на зануленный корпус ток короткого

замыкания проходит через обмотки трансформатора, фазный провод и нулевой провод.

### **Пожаробезопасность**

Пожарная безопасность означает состояние объекта или производственного процесса, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечивается защита материальных ценностей. Пожарная безопасность осуществляется за счет систем предотвращения пожара, организационными и организационно-техническими мероприятиями.

По степени пожарной опасности, согласно [10], лабораторию можно отнести к категории В, так как в ней ведутся работы с применением твердых сгораемых материалов с температурой воспламенения свыше 120°C.

В лаборатории, где проводились исследования, причины пожара могут носить электрический и неэлектрический характер.

Причины электрического характера:

- а) короткое замыкание;
- б) перегрузки;
- в) электрические дуги, искры, возникающие в результате ошибочных операций с коммутационной аппаратурой;
- г) плохие контакты в местах соединения проводников.

Причины неэлектрического характера:

- а) неосторожное обращение с огнем;
- б) неисправность отопительных приборов или нарушение режима их работы;
- в) самовоспламенение некоторых материалов.

Пожарная безопасность в лаборатории достигается комплексом профилактических мероприятий, включающих в себя организационные и технические мероприятия.

К организационным мероприятиям относятся:

1. Проведение инструктажа.
2. Профилактический осмотр оборудования на предмет пожарной опасности.
3. Соблюдение чистоты и порядка в лаборатории.
4. Вывешивание предупредительных плакатов, которые предостерегают о возможности возникновения пожара при несоблюдении правил санитарии.
5. Обучение сотрудников способам и приемам ликвидации пожара.

К техническим мероприятиям относятся:

1. Защита установок от перегрузок и коротких замыканий.
2. Покрытие легковоспламеняющихся предметов огнеупорным покровом. По окончании работы в лаборатории сотрудник уходящий последним, обязан:
  - а) выключить прибор из сети;
  - б) выключить рубильник;
  - в) выключить освещение.

В лаборатории ПАО «НИКИ г.Томск» на случай пожара находится огнетушитель ОУ-8, предназначенный для тушения пожаров на электрических установках или оборудовании под напряжением. Пенный огнетушитель ОХЛ-10 предназначен для тушения огня в тех местах, где нет напряжения.

Для своевременной ликвидации элементов возгорания используют световые, тепловые и дымовые датчики, реагирующие на наличие того или иного фактора.

Для своевременной эвакуации рабочего персонала из лаборатории на дверях расположен план эвакуации (рисунок 2).



Рисунок 2 - План эвакуации при пожаре и других ЧС

### 5.3 Охрана окружающей среды

ПВДФ (поливинилиденфторид) представляет собой полимер. Основные материалы, используемые в полимерном производстве и многие добавки к полимерам могут вызывать системные токсические эффекты. Токсины, которые освобождаются при разложении полимеров, намеренном сжигании или случайных пожарах очень загрязняют воду, воздух и почву. В эксплуатируемом же состоянии ПВДФ безвреден для человека и окружающей среды.

Процесс исследования также может иметь влияние на окружающую среду, как и объект исследования. Но в данном случае, негативные последствия могут быть вызваны только при возникновении пожара. В этом случае произойдет выброс продуктов горения за пределы производственного помещения. Помимо продуктов термического разложения используемого полимера, согласно [1] среди продуктов горения, негативно сказывающихся на экологии окружающей среды, имеют место углекислый газ (более  $0,11 \text{ кг/м}^3$ ), угарный газ (более  $1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ ), соляная кислота (более  $23 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ ) и другие.

При отсутствии аварийной ситуации, приводящей к выбросу продуктов термического разложения, также существуют следующие виды отходов, которые могут нанести вред окружающей среде:

- сброс сточных вод;
- твердые отходы.

Безотходная технология является наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий. Это комплекс мероприятий в технологических процессах от обработки сырья до использования готовой продукции, в результате чего сокращается до минимума количество вредных выбросов и уменьшается воздействие отходов на окружающую среду до приемлемого уровня.

#### **5.4 Защита в чрезвычайных ситуациях**

Согласно [6] потенциальная угроза жизни и здоровью населения в ЧС может реализоваться вследствие высвобождения в природную среду обитания человека больших количеств сконцентрированной энергии, опасных и вредных для жизни и здоровья людей веществ и агентов.

В связи с этим, мероприятия по защите должны осуществляться в объемах, обеспечивающих не превышение допустимого нормативного воздействия на людей реализовавшихся поражающих факторов. Если в силу складывающихся обстоятельств установленные нормативы допустимых опасных воздействий могут быть превышены, мероприятия по защите людей надлежит проводить по направлениям и в масштабах, позволяющих максимально ослабить это воздействие.

Основные причины чрезвычайных ситуаций:

- влияние внешних природных факторов, приводящих к старению или коррозии металлов, конструкций, сооружений и снижению их физико-математических показателей;

- результаты стихийных бедствий и особо опасных инфекций;
- воздействие технологических процессов промышленного производства на материалы сооружений (нагрузки, скорости, температуры, вибрации);
- производственные дефекты сооружений (ошибки при исследовании и проектировании, плохое выполнение строительных работ, плохого качества строительных материалов и конструкций, нарушения в технологии изготовления и строительства);
- нарушение правил безопасности при ведении работ и технологических процессов;
- ошибки, связанные с системой отбора руководящих кадров, низким уровнем профессиональной подготовки рабочих и специалистов и их некомпетентностью и безответственностью, и т. д.

Одним из условий быстрой ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций является соблюдение общественного порядка. Персонал, находящийся на территории предприятия должен проявлять высокую дисциплину, организованность, спокойствие и не поддаваться панике.

Для ликвидации последствий ЧС созданы следующие службы:

- оповещения и связи;
- противорадиационной и противохимической защиты;
- медицинская;
- аварийно-техническая;
- охраны общественного порядка.

### **5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Перед началом работ в исследовательской лаборатории был пройден инструктаж (вводный и на рабочем месте). При выполнении дипломной работы по оценке стойкости оболочки, выполненной из ПВДФ, к действию агрессивной среды необходимо иметь не менее III группы допуска по электробезопасности.



Рабочее место не должно быть загромождено никакими посторонними предметами.

Были выданы средства индивидуальной защиты. К средствам индивидуальной защиты (СИЗ) в лаборатории относятся: средства защиты органов дыхания и средства защиты кожи. Они предназначены для защиты от отравляющих веществ и бактериальных средств.

К средствам защиты органов дыхания относятся респираторы Р-2Д, Р-2 защищают органы дыхания вредных испарений.

Средства защиты кожи предохраняют кожу и одежду от попадания агрессивной среды. К ним относятся фильтрующая одежда из хлопчатобумажной ткани (халат и перчатки).

Хранение СИЗ предусматривается вблизи рабочих мест.

## **Список литературы**



## Приложение А